

دليل المهندس الكهربائي



ترجمة وإعداد
المهندس لؤي عبد اللطيف


منتدى إقراء الثقافي

- الطبعة الأولى 2006

- الناشر: شعاع للنشر والعلوم

حارة الرباط 2 - المنطقة 12 - حي السبيل 2

تلفاكس : 2643545 (21) 00963

هاتف : 2643546 (21) 00963

سورية ـ حلب

ص.ب 7875

لمزيد من المعلومات ولشراء كتب الدار مباشرة على الإنترنت

يرجى زيارة موقعنا http://www.raypub.com

البريد الإلكتروني للقراء: quality@raypub.com

info@raypub.com

البريد الإلكتروني للزبائن: sales@raypub.com

البريد الإلكتروني لدور النشر: orders@raypub.com

دليل
المهندس الكهربائي

ترجمة وإعداد

المهندس لؤي عبد اللطيف

مراجعة

المهندس سمير عياش

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

لم يتوسع هذا الكتاب في الدراسات النظرية أو التحليلية للعناصر أو الدارات الكهربائية أو الإلكترونية، وإنما اعتمد على أسلوب الشرح المبسط دون تعقيد لجميع المواضيع التي تنتمي للحقل الكهربائي. حيث تدخل الأجهزة الكهربائية والآلات مجال الصناعة من بابه العريض، فهي تستعمل في نقل وتوزيع القدرة الكهربائية، وفي تغذية المصانع والمعامل بالحركة، وفي التحكم الآلي وآليات الجر والرفع، وما إلى ذلك من تطبيقات واستثمارات شتى في جميع الاختصاصات حتى لا يكاد يخلو بيت أو مصنع سواء كان عاماً أو خاصاً من أداة أو آلة كهربائية.

يتفرع هذا الكتاب إلى ثلاثة وعشرين فصلاً تغطي كافة التفاصيل المرتبطة بالكهرباء. نذكر بعضاً من هذه الفصول على سبيل المثال لا الحصر، حيث يتحدث الفصل الثاني عن المواد المغناطيسية وخلائطها وعن المواد العازلة والناقلة، والفصل الثالث يتطرق لموضوع المواد البلاستيكية والمطاطية الداخلة في صناعة الملحقات الكهربائية. ويعرض الفصل السابع نظرية التوليد الكهربائي بتفاصيلها، أما الفصل الثامن فيشرح أنظمة نقل وتوزيع الكهرباء والفصل التاسع يعرض لأنظمة الأسلاك والتمديدات الكهربائية.

نتناول التطبيقات الكهربائية بدءاً من الفصل الثالث عشر حيث استثمار الكهرباء في الإنارة ويعالج الفصل الخامس عشر استثمار الكهرباء في التسخين والتدفئة والتبريد، ويتحدث الفصل التاسع عشر عن اللحام الكهربائي. أما الفصل العشرون فيعرض لأنظمة البطاريات وأنواعها واستخداماتها.

ويتناول الفصل الثامن عشر أدوات القياس وتجهيزاته والأنظمة المتبعة فيه.

وأخيراً يتعرض الفصل الحادي والعشرون لمناطق العمل الكهربائي الخطرة وكيفية التعامل مع هذا الموضوع.

1

المبادئ الأساسية والنظرية

المبادئ الأساسية

التيار: يستخدم مصطلح "التيار" للدلالة على معدل التدفق الكهربائي. عندما يكون معدل التدفق الكهربائي هذا ثابتاً، فإن التيار سيعبِّر عن كمية الكهرباء التي تجتاز نقطة محددة من الدارة وخلال ثانية واحدة. (تم تعريف واحدة التيار رسمياً عام 1948 بدلالة القوة الكهرومغناطيسية التي يولدها كونها المقدار الأكثر قابلية للقياس). لا تعتمد شدة التيار على القوة المحركة الكهربائية فقط، بل تعتمد أيضاً على طبيعة وأبعاد المسار الذي يسلكه.

قانون أوم: ينص قانون أوم على أنه في دارة تيار مستمر (d.c)، يتناسب التيار طرداً مع القوة المحركة الكهربائية (الجهد) وعكساً مع مقاومة الدارة. باختيار مناسب لواحدات القياس، يمكن كتابة هذا القانون على النحو التالي:

$$\text{التيار} = \frac{\text{القوة المحركة الكهربائية}}{\text{المقاومة}}$$

الواحدات المستخدمة لهذه الكميات هي:

- التيار: الأمبير A.
- القوة المحركة الكهربائية: الفولت V.

• المقاومة: الأوم Ω.

يمكن إعادة كتابة قانون أوم بعد استخدام الرموز R, V, I للتعبير عن الكميات الواردة أعلاه على النحو التالي:

$$I = \frac{V}{R}$$

أو

$$V = I \times R$$

لا يسري هذا القانون على كامل الدارة فقط، بل يمكن تطبيقه في أي جزء منها مع توخي الحذر من خلال استخدام القيم المناسبة لذلك الجزء من الدارة.

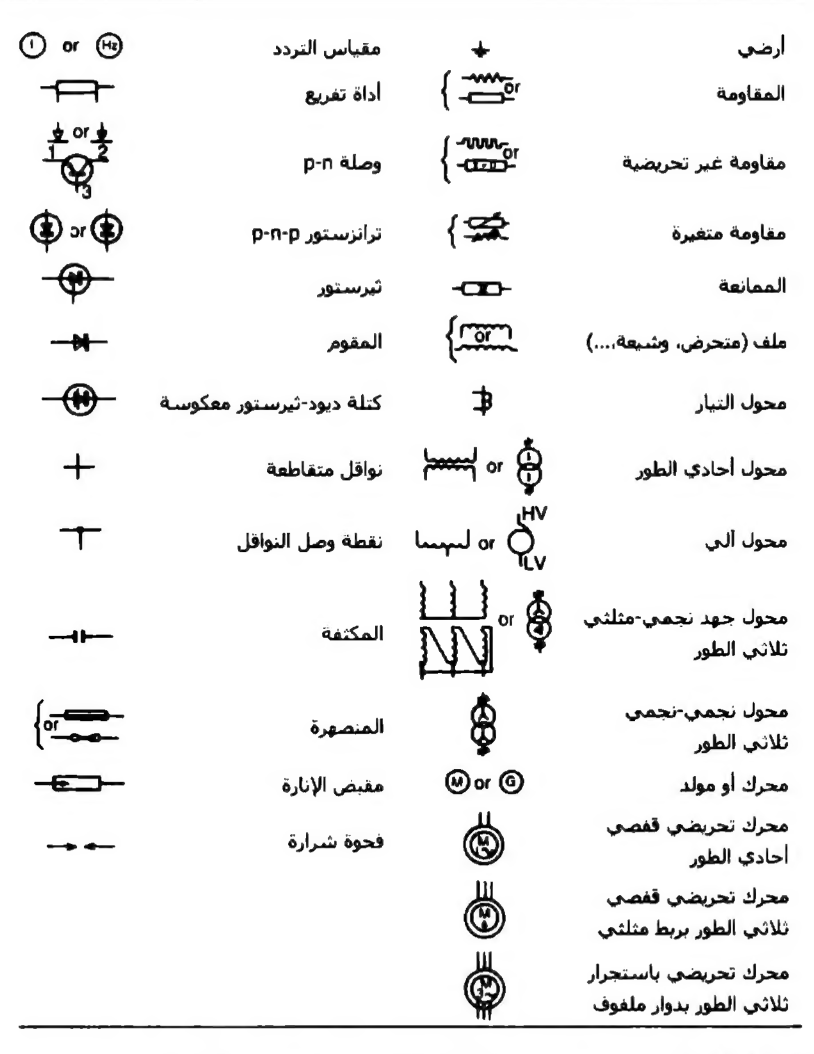
المقاومية (resistivity): تعرف مقاومية مادة ما بأنها مقاومة قطعة منها ذات طول واحدي، ومساحة مقطع عرضي واحدية ويرمز لها بالرمز ρ وتقاس بواحدة Ω.m. لا تكون مقاومية المادة ثابتة عادة، بل تتعلق بدرجة الحرارة. يحتوي الجدول (1.1) على قيم المقاومية (ومعاكستها، الناقلية) لمعظم المعادن والخلائط المعروفة.

مقاومة ناقل ما: تعطى مقاومة ناقل نظامي طوله l ومساحة مقطعه العرضي A بالعلاقة التالية:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

فإذا استخدمت الواحدة Ω.mm في قياس المقاومية ρ، عندها يجب أن تكون واحدة الطول هي mm وواحدة المساحة هي mm^2.

القطب الموجب	+	البطارية	─┤├────┤├─
القطب السالب	-	مقياس الفولت	Ⓥ
تيار متناوب A.C	~	مقاس الأمبير	Ⓐ
أحادي الطور	~	مقياس الاستطاعة	Ⓦ
ثلاثي الطور	~ 3	مقياس عامل الاستطاعة	cosφ



الشكل (1.1) الرموز التخطيطية الكهربائية حسب المواصفة BS 3939

معامل درجة الحرارة: يمكن حساب مقاومة أي ناقل عند أية درجة حرارة بواسطة العلاقة التالية:

$$R_t = R_0(1+\alpha t)$$

R_t : المقاومة عند درجة الحرارة t°C.

R_0 : المقاومة عند درجة الحرارة 0°C.

يدعى α معامل درجة الحرارة، وهو يعبر عن نسبة ازدياد المقاومة لدى ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة بالنسبة للمقاومة الفعلية عند درجة الحرارة 0°C. قيمته للنحاس هي 0.004، ويجب أخذ هذا المعامل بعين الاعتبار في الحسابات العملية بسبب أهمية ازدياد المقاومة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة.

الجدول (1.1) المقاومية عند درجة الحرارة 20°C

المادة	المقاومية Ω.m	الموصلية (الناقلية) S/m
الفضة	1.64×10^{-8}	6.10×10^{7}
النحاس (خالي الرصاص)	1.72×10^{-8}	5.8×10^{7}
الذهب	2.40×10^{-8}	4.17×10^{7}
الألمنيوم القاسي	2.82×10^{-8}	3.55×10^{7}
التنغستين	5.00×10^{-8}	2.00×10^{7}
التوتياء	5.95×10^{-8}	1.68×10^{7}
البرونز (النحاس الأصفر)	6.60×10^{-8}	1.52×10^{7}
النيكل	6.90×10^{-8}	1.45×10^{7}
البلاتين	11.0×10^{-8}	9.09×10^{6}
القصدير	11.5×10^{-8}	8.70×10^{6}
الحديد	10.15×10^{-8}	9.85×10^{6}
الفولاذ	19.9×10^{-8}	5.03×10^{6}
الفضة (الألمانية)	$16\text{-}40\times10^{-8}$	$6.3\text{-}2.5\times10^{6}$
البلاتينيون (خليطة النحاس + النيكل)	34.4×10^{-8}	2.91×10^{6}
أكسيد المنغنيز	44.0×10^{-8}	2.27×10^{6}

الجدول (1.1) /تابع/

المادة	المقاومية Ω.m	الموصلية (الناقلية) S/m
غاز الكربون	0.005	200
السيليكون	0.06	16.7
الصمغ	2×10^{7}	5×10^{-8}
الزجاج	5×10^{9}	2×10^{-10}
الإيبونيت (المطاط الأسود)	2×10^{13}	5×10^{-14}
البورسلان	2×10^{13}	5×10^{-14}
الكبريت	4×10^{13}	2.5×10^{-14}
الميكا	9×10^{13}	1.1×10^{-14}
البارافين	3×10^{16}	3.3×10^{-17}

الاستطاعة: تعرف الاستطاعة بأنها معدل العمل المنجز. والواحدة الكهربائية لقياسها هي الواط Watt، وتعطى كالتالي:

$$1W = 1V \times 1A$$

أو:

$$W = V \times A$$

وبالرموز:

$$P = V \times I$$

ملاحظة 1 kW=1000 W

الطاقة: يمكن تعريف الطاقة بأنها محصلة جداء الاستطاعة بالزمن. ونحصل على الطاقة الكهربائية من العلاقة:

$$\text{Energy} = V.I.t$$

حيث t تمثل الزمن مقاساً بالثوان.

إن الواحدة الناتجة هي الجول (J)، وهو يكافئ أمبير واحد عند فولت واحد لكل ثانية. والواحدة العملية للطاقة الكهربائية هي الكيلوات ساعي KWh ويعطى بالعلاقة:

$$kWh = \frac{Watts \times hours}{1000}$$

الطاقة المبددة في المقاومة: يعبرٌ عن هبوط الجهد على طرفي المقاومة R لدى مرور التيار I عبرها بالعلاقة:

$$V = I.R$$

يمثل التعبير V.I الاستطاعة المستهلكة، وبالتالي، فإن الطاقة في هذه الدارة ستكون:

$$P = V.I = (I.R) \times I = I^2 \times R$$

يعبر الحد I^2R عن الضياعات النحاسية، ويعرف أحياناً بالضياع I^2R. وبشكل مشابه يمكن التعبير عن الطاقة كما يلي:

$$V \times (V/R) = V^2/R$$

نظام الواحدات الدولية: يستخدم نظام الواحدات الدولية كلاً من الواحدات m للطول، kg للكتلة، و s للزمن. هذه الواحدات معرفة في المواصفة BS 5555 من المواصفات القياسية البريطانية.

فيما تبقى من هذا الكتاب، سيتم اعتماد الواحدات الدولية، وتتضمن معظم الواحدات الكهربائية المألوفة. باعتماد هذه الواحدات، فإن قيم كل من السماحية (permittivity) والنفاذية (permeability) تصبح قيم ثابتة وهي:

السماحية $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m

النفاذية $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

تدعى هذه الثوابت أحياناً، بثابت السماحية الكهربائية للفراغ، وثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ. يكون لبعض المواد سماحية ونفاذية نسبية ε_r و μ_r، وعليه فإن قيم ε_r و μ_r للفراغ ستساوي الواحد.

الكهرباء الساكنة

إن امتلاك جميع الأجسام الاستعداد لأن تصبح مشحونة كهربائياً، هو ما يصطلح على تسميته بالكهرباء الساكنة. تقاس شحنة جسم ما، عن طريق قياس قوة التأثير المتبادل بين شحنتين، وتخضع هذه القوة لقانون تربيعي عكسي (أي أن القوة متناسبة طرداً مع جداء الشحنتين، وعكساً مع مربع المسافة الفاصلة بينهما)، ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0 d^2} \quad \text{N}$$

حيث q1, q2 هما الشحنتان بواحدة الكولون (C)، و d هي المسافة الفاصلة بينهما بواحدة المتر (m)، والنفاذية ε_0 تعبر عن الوسط الكائن بين الشحنتين سواء أكان الهواء أم الفراغ.

أما عندما تقوم بعض الأوساط المادية بدور العازل بين أي جسمين مشحونين، فإن قوة التأثير المتبادل بينهما ستختلف تبعاً لتأثير النفاذية النسبية للوسط العازل الذي يفصل بين هذين الجسمين، ويمكن الاصطلاح على تسمية النفاذية النسبية بثابت العازلية. في هذه الحالة ستعطى قوة التأثير المتبادل بين الجسمين المشحونين بالعلاقة:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0 d^2} \quad \text{N}$$

حيث ε_r ثابت عازلية الوسط المادي الفاصل بين الجسمين المشحونين، وقيمته تساوي الواحد بالنسبة للهواء أو الفراغ.

شدة الحقل: يولد أي جسم مشحون حقلاً كهربائياً ساكناً، ويعبر عن شدة هذا الحقل بالقوة في واحدة الشحنة. إذاً تعطى شدة الحقل الكهربائي الناتج عن الشحنة النقطية q كالتالي:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 d^2} \quad \text{V/m}$$

ملاحظة

إن الأمبير A هو الواحدة المعرفة لقياس التيار. لذا فإن الكولون هو كمية الشحنة الكهربائية المتدفقة عبر نقطة من الدارة لدى مرور تيار مقداره 1A ولمدة ثانية واحدة.

اعتمدت قيمة الأمبير عالمياً في عام 1948، وعرّف بأنه التيار المار عبر ناقلين متوازيين لا متناهيي الطول، ومتواجدين في الفراغ، تفصل بينهما مسافة قدرها 1m ، ويولد في كل منهما قوة مقدارها $2\times10^{-7} N/m$ تؤثر على الآخر.

الفيض العازل: كما مر سابقاً، يمكن تمثيل الحقل الناتج عن شحنة كهربائية بخطوط وهمية مشابهة لخطوط القوة المغناطيسية. تمثل هذه الخطوط المسارات التي تسلكها شحنة حرة واحدية عندما تقع تحت تأثير شحنة الجسم.

من خلال خطوط القوة هذه نحصل على كثافة الفيض العازل هذا وهو يحسب بعدد خطوط القوة في واحدة المساحة. للحصول على واحدة القياس الخاصة بها، نأخذ كرة نصف قطرها 1 متر وشحنتها 1 كولون، نحصل عندها على كثافة فيض بخط واحد في خطوط القوة في واحدة المساحة وأما العدد الكلي للخطوط فسيكون عندها مساوياً لمساحة سطح الكرة = 4π. من أجل شحنة q على بعد r تحسب كثافة الفيض العازل من العلاقة:

$$D = \frac{q}{4\pi r^2} \quad \text{C/m}^2$$

وكنا قد رأينا أن كثافة الحقل الكهربائي، أو القوة الكهربائية عند أية نقطة هي:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0 r^2}$$

وبالتالي يمكن التوصل للعلاقة:

$$E = \frac{D}{\varepsilon_r\varepsilon_0}$$

الكمون الكهربائي الساكن: يتناسب كمون الجسم المشحون كهربائياً مع شحنة وسعة الجسم، أي C=Q/V ، حيث C هي السعة، وV هي الكمون. تعرف سعة الجسم بأنها الشحنة أو كمية الكهرباء اللازمة لرفع كمونه بمقدار فولت واحد. وتمثل واحدة الكمون هذه العمل المقدم بالجول واللازم لنقل واحدة الشحنة (1C) من اللانهاية إلى نقطة بكمون واحدي.

السعة: للأغراض العملية، تمت ملاءمة واحدة السعة مع واحدتي الفولت والكولون، وهذه الواحدة هي الفاراد (F)، وبالتالي فإن C=Q/V حيث تقاس C بالفاراد، وQ بالكولون، وV بالفولت. وغالباً ما يعتبر الفاراد من الواحدات الكبيرة، لذلك يتم في التطبيقات العملية استخدام أجزائه الصغيرة على نطاق واسع. مثل الميكروفاراد = 10^{-6} فاراد، البيكوفاراد = 10^{-12} فاراد.

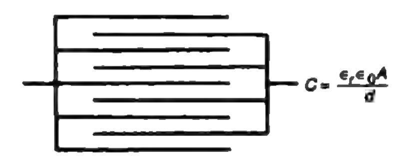
المكثفات

تزداد سعة أي جسم كلما اقترب من الأرض، أو من أي جسم آخر. والجمع بين هذين الجسمين هو ما ندعوه بالمكثف. وبشكل أدق، فإن فرق الكمون بين الجسميـــن هو فعل المكثف الذي يتأثر بثابت عازلية المادة الفاصلة بينهما.

المكثفة المستوية: تصنع المكثفات المستوية - الشكل (1.2) - عادةً من صفائح معدنية تفصل بينها مادة الورق أو مواد عازلة أخرى، ويعبر عن سعة المكثفة المستوية بالعلاقة:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 A / d \quad \text{F}$$

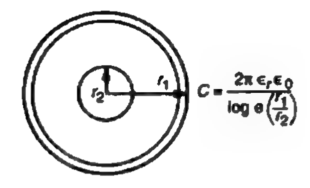
حيث A مساحة كل صفيحة و d سماكة المادة العازلة. في الأنواع متعددة الصفائح، يجب ضرب هذه العلاقة بالعدد الكلي الفعلي للصفائح المتوازية.



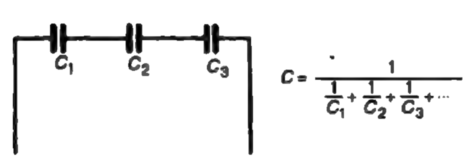
الشكل (1.2) المكثفة المستوية

المكثفة المتمركزة: يمكن أن تمثل الكابــلات الكهربائية مكافئات لهذا النوع من المكثفات كما هو مبين في الشكل (1.3). حيث يمثل r1 نصف قطر الناقل الخارجي (الغلاف)، r2 نصف قطر الناقل الداخلي، فإذا كان ε_r يمثل ثابت العازلية للمادة الفاصلة، تعطى سعة هذه المكثفة (من أجل واحدة الطول 1m) بالعلاقة:

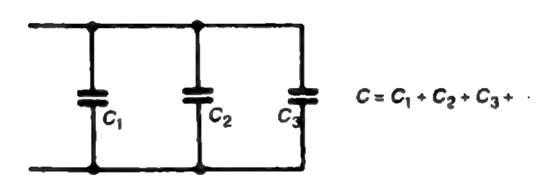
$$C = \frac{2\pi \varepsilon_r \varepsilon_0}{\log e(r_1 / r_2)} \quad \text{F/m}$$



الشكل (1.3) المكثفة المتمركزة



الشكل (1.4a) وصل المكثفات على التسلسل



الشكل (1.4b) وصل المكثفات على التوازي

قيم εr لبعض المواد المختلفة

الهواء	1
الورق، الورق المقوى	2
شريط لاصق	2
قماش معزول	2
ورق زيتي	2
صمغ اللك	3
البهكاليت	6
البارافين	3
الميكا	7
البورسلان	7
الزجاج	7
الرخام	8
المطاط	2.5
الإيبونيت	2.5
الصمغ	4
البولي إيتيلين	2.3
النايلون	3
صمغ الإيبوكسي	3.4
صمغ الفينوليك	3.5

الدارة المغناطيسية

الكهرطيسية: من المفترض أن تتخذ المغناطيسية شكل خطوط القوة المغناطيسية أو الفيض المغناطيسي المتدفق حول الدارة المغناطيسية. يمكن أن تكون هذه الدارة عبارة عن مسار حديدي كامل أو مسار حديدي يتخلله فجوة هوائية واحدة أو أكثر.

يعتبر المحول ذو القلب الحديدي أحد الأمثلة عن أداة التشكيل والمولد، حيث يقوم بالمزج بين الصفائح الحديدية للقلب الساكن، والحديد الدوار المشكل بالحرارة والتطريق، مع وجود فرجة بينهما ممتلئة إما بالهواء أو الهيدروجين. تتناسب خطوط القوة المغناطيسية مع القوة المحركة المغناطيسية للدارة كما يلي:

$$m.m.f = I.N \quad \text{A. turns} \ (\text{أمبير لفة})$$

حيث I التيار مقاس بواحدة الأمبير A، N عدد لفات الملف الحامل لهذا التيار.

هناك أوجه شبه كثيرة بين القوة المحركة المغناطيسية والقوة المحركة الكهربائية، فبدلاً من المقاومة الكهربائية هناك الممانعة المغناطيسية، والتي يمكن النظر إليها على أنها مقاومة الدارة المغناطيسية للفيض المغناطيسي الناتج، وتحسب من العلاقة:

$$S = \frac{l}{A\mu_r\mu_0} \quad \text{At/Wb}$$

حيث l طول الدارة المغناطيسية (m)، A مساحة المقطع العرضي (m^2)، $\mu_r\mu_0$ نفاذية المادة. والنفاذية هي خاصية للدارة المغناطيسية الحقيقية، ولا تتعلق تغيراتها بطبيعة المادة فقط، بل تتغير كذلك تبعاً لتغيرات خطوط القوة. أي كثافة الفيض المغناطيسي المتحرض فعلاً في المادة إذا كانت تلك المادة تنتمي للمواد الحديدية المغناطيسية (بشكل عام الحديد).

يتناسب الفيض المغناطيسي الفعلي المتحرض في أية دارة مع نسبة القوة المحركة المغناطيسية إلى الممانعة المغناطيسية. وبذلك يمكن الحصول على الفيض الكلي من العلاقة:

$$\phi = \frac{m.m.f}{S} \quad \text{Wb}$$

تعطى النفاذية النسبية μ_r، عادةً، كنسبة عدد خطوط القوة المغناطيسية (كثافة الفيض المغناطيسي) المتحرض في الدارة لأية مادة حديدية مغناطيسية إلى عدد الخطوط المتحرضة في الفراغ عند نفس الشروط. يمكن اعتبار نفاذية الفراغ الحر μ_0 من أجل جميع الأهداف والأغراض هي نفسها للهواء، وبالتالي يمكن القول بأن النفاذية هي الناقلية المغناطيسية بالنسبة للهواء.

باعتبار العلاقة المعبرة عن الفيض المغناطيسي الكلي الواردة آنفاً، يمكن تعويض قيم كل من m.m.f و S للحصول على علاقة الفيض الكلي التالية:

$$\phi = \frac{\mu_r \mu_0 I\ N\ A}{l} \quad \text{Wb}$$

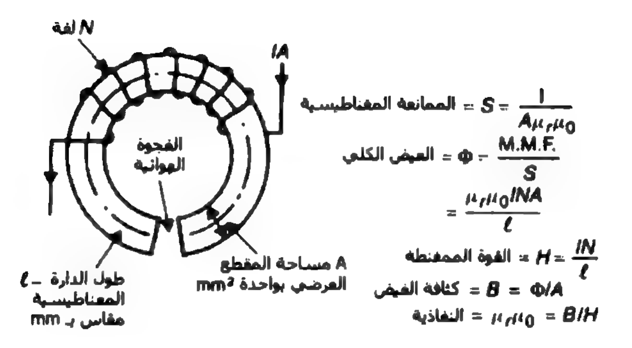
وبالتالي تحسب كثافة الفيض أو عدد الخطوط في كل $1m^2$ من المقطع العرضي بالعلاقة:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \text{T}$$

حيث T هي واحدة التسلا، وتساوي إلى الويبر Wb في واحدة المساحة m^2.

في العديد من الحالات، تحتوي الدارة المغناطيسية على فجوة هوائية كما هو مبين في الشكل (1.5)، ولذا فإنه يمكن استخدام الفيض المغناطيسي المتولد في هذه الفجوة في القسم الدوار المتحرض لمحرك ما على سبيل المثال. ومن المعتاد في مثل هذه الحالة تعريف الفيض المغناطيسي المستخدم بالفيض المفيد. وفي مثل هذه الحالة ستظهر بشكل دائم كمية محددة من الفيض عند الحواف. وكذلك سيسلك عدد من خطوط القوة مسالك قصيرة بعيداً عن الفجوة الهوائية، وبالتالي سيقل الفيض الفعلي المفيد في الفجوة الهوائية عن الفيض الناتج عن الملف، ويعبر عن نسبة هذين الفيضين بمعامل التسرب.

$$\text{معامل التسرب} = \frac{\text{الفيض في الفجوة الهوائية}}{\text{الفيض في الحديد}}$$



الشكل (1.5) الدارة المغناطيسية

أمبير– لفة لكل متر (At/m): عند تناول الدارات المغناطيسية المعقدة، كدارات المولدات، المحركات،... الخ، من الأنسب تناول المقاطع المختلفة للدارة المغناطيسية بشكل منفصل، ولذلك من المفيد التعامل مع عدد اللفات والأمبيرات لكل 1m بغية الحصول على كثافة فيض ثابتة. بالعودة إلى علاقة الفيض الكلي الواردة سابقاً:

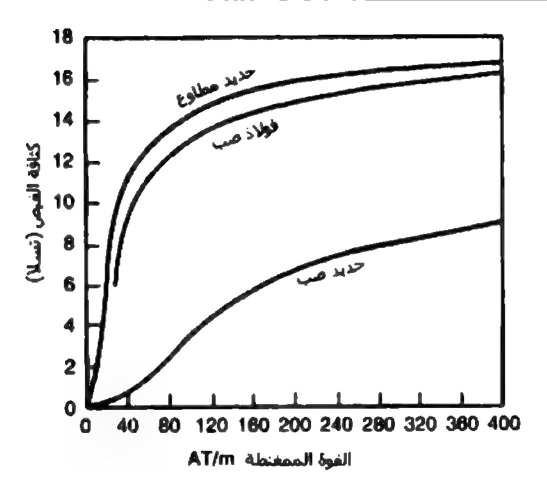
$$B = \frac{\Phi}{A} = \mu_r\mu_0 \frac{I\,N}{l} = \mu_r\mu_0 H$$

نجد ارتباط النفاذية وكثافة الفيض مع بعضهما البعض عن طريق الحد:

$$\frac{I\,N}{l} = H$$

والذي ندعوه بالقوة الممغنطة، ومن الواضح بأنها تساوي إلى أمبير–لفة في واحدة الطول.

عادةً، يتم تمثيل العلاقة بين H وB عن طريق المنحني B-H المبين في الشكل (1.6)، لكن باستخدام مقياس مختلف، لا يمكن قراءة قيم الأمبير– لفة لكل متر اللازمة. هذا المقياس مبين في الشكل (1.6) أيضاً.



الشكل (1.6) المنحني B-H

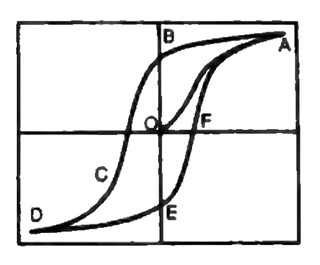
البطاء المغناطيسي (hysteresis): لدى مغنطة قطعة حديدية ما بشكل تدريجي، ومن ثم إزالة تلك المغنطة ببطء، سنجد استمرار وجود بعض المغناطيسية المتبقية بالرغم من تناقص التيار إلى الصفر، بل إن التيار سينعكس لإلغاء الفيض. وهذا ما يوضحه الشكل (1.7) الذي يعبر عن المنحني الكامل لدورة المغنطة A B C D E F، يدعى تخلف الفيض عن القوة الممغنطة بالبطاء (أو التخلف المغناطيسي). فخلال دورة كاملة كما هو مبين في الشكل A B C D E F تتغلغل الطاقة في الحديد، وهذا ما يمثل ضياعاً بالنسبة للمنظومة ككل، وهذا ما يدعى بضياعات البطاء المغناطيسي. يعبر عن التردد بالهرتز Hz وبالتالي فإن 1 Hz= 1 t/s.

يكون هذا الضياع مستمراً في آلات التيار المتناوب، وتعتمد قيمته على طبيعة المواد المستخدمة، تعطى الاستطاعة الضائعة في واحدة الحجم بالعلاقة:

$$k_1.f.B^n_{max}$$

حيث k_1 ثابت يتعلق بالمادة، n أس البطاء المغناطيسي أو أس Steinmetz ويتعلق بالمادة أيضاً، كانت قيمته في الأصل 1.6 ولكن مع المواد الحديثة الخاضعة لكثافات فيض

عالية، يمكن أن تتراوح قيمته بين 1.6 حتى 2.5 أو أكثر. f التردد بالهرتز Hz و B_{max} كثافة الفيض العظمى.



ABCDEF : دارة البطاء المغناطيسي

OB = ضياع البطاء المغناطيسي المتبقي [J/cm³/Cycle] أو [w/cycle]

$W=nfB^{1.6}\times 10^{-1}$ لكل m^3

الشكل (1.7) ضياعات البطاء المغناطيسي

تخضع جميع المواد المغناطيسية تقريباً لنمط المغنطة الدوري حول دورة البطاء المغناطيسي، وسنختبر كذلك تدفق التيارات الإعصارية (تيارات فوكو Eddy currents) التي تنشأ بسبب الضياعات. يمكن تخفيض مطال التيارات الإعصارية عن طريق زيادة المقاومة الكهربائية أمام هذه التيارات، وذلك عن طريق بناء الدارة المغناطيسية من صفائح رقيقة أو عن طريق إضافة السيليكون إلى الحديد الأمر الذي يؤدي إلى زيادة مقاومته. ويؤدي السيليكون المضاف إلى اختزال الضياع بسبب البطاء المغناطيسي أيضاً عن طريق تصغير حلقة البطاء.

تعطى الضياعات الناجمة عن التيارات الإعصارية لكل m^3 وفق العلاقة التالية:

$$k_2.f^2.t^2.B_{eff}^2/\rho$$

حيث k_2 ثابت آخر يتعلق بالمادة، t السماكة، ρ المقاومية، B_{eff} كثافة الفيض الفعال والتي تتعلق بقيمته المحدية.

لدى تصميم الآلات الكهربائية، فإنه من الأنسب ربط ضياعات الدارة المغناطيسية أو الضياعات الحديدية مع وزن القلب الحديدي المستخدم أكثر من حجمه، ويتم ذلك ببساطة عن طريق ضبط الثوابت k_1 و k_2 بشكل صحيح. يمكن أن تبدأ القيم النموذجية لمجموع ضياع البطاء وضياعات التيارات الإعصارية من قيمة أقل من 1

لتصل حتى 2 W/kg وذلك من أجل الصفائح الحديثة ذات السماكة 0.3 mm تقريباً عند كثافة فيض 1.6 T وتردد 50 Hz.

المسارات المغناطيسية المتسلسلة: بما أن المسار المغناطيسي مكون من أجزاء مختلفة، فإنه يمكن الحصول على المقاومة المغناطيسية الكلية للدارة عن طريق جمع المقاومات المغناطيسية للأجزاء المختلفة تلك. فمثلاً، يمكن حساب المقاومة المغناطيسية الكلية للحلقة المبينة في الشكل (1.5) عن طريق جمع مقاومة الجزء الحديدي مع مقاومة الفجوة الهوائية. حيث تعطى مقاومة فجوة هوائية طولها l_0 بالعلاقة:

$$\frac{l_0}{\mu_0 A}$$

حيث $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{H/m}$.

نظرية التيار المتناوب

التيارات المتناوبة: تنتج المولدات الحديثة للتيار المتناوب قوة محركة كهربائية جيبية (ذات منحنٍ جيبي) من أجل الأغراض العملية، وبالتالي تعطى علاقة القوة المحركة الكهربائية مع الزمن كالتالي:

$$e = E_{max} . \sin \omega t$$

حيث:

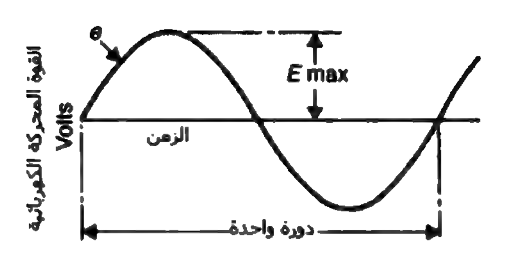
e: الجهد اللحظي (الآني).

E_{max}: الجهد الأعظمي.

ωt : زاوية دوران القسم المتحرض بالنسبة للمحور الحيادي.

باعتبار التردد f Hz، تصبح قيمة ω مساوية إلى $2\pi f$، وهذا يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$e = E_{max} . \sin(2\pi f) t$$



الشكل (1.8) منحني الجهد

بما أن التيار متناسب عادةً مع الجهد، فإنه سيكون جيبياً أيضاً، وله الشكل الرياضي التالي:

$$i = I_{max} . \sin[(2\pi f)t + \phi]$$

حيث تشير ϕ إلى فرق الصفحة (الإزاحة الزاوية) بين التيار والجهد.

القيمة الفعالة أو المتوسطة. سنجد أن معدل قيمة الجهد أو التيار مساو إلى 0.636 من القيمة العظمى لموجة جيبية كاملة، والعلاقات القادمة تعبر عن ذلك:

$$E_{ave} = 0.636 \ E_{max}$$
$$I_{ave} = 0.636 \ I_{max}$$

تستخدم القيم الفعالية فقط للربط بين العمليات التي يعتمد خرجها على التيار فقط بصرف النظر عن قيمة الجهد، مثل الطلاء الكهربائي أو شحن البطاريات.

القيم المنتجة (متوسط الجذور التربيعية r.m.s). تحسب القيم المنتجة من العلاقات:

$$E_{r.m.s} = E_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \ E_{max}$$
$$I_{r.m.s} = I_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \ I_{max}$$

يتم حساب هذه القيم عن طريق إيجاد متوسط الجذور التربيعية للفواصل العمودية (قيم المحور y) من أجل موجة كاملة أو نصف موجة (راجع الشكل (1.8)). وهي

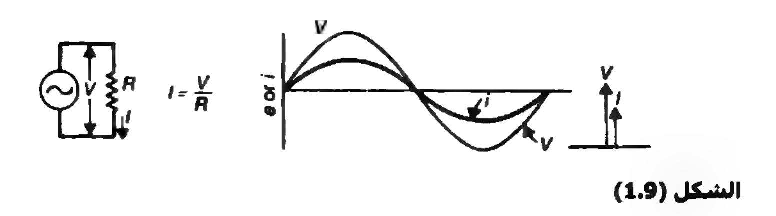
القيم المستخدمة من أجل أغراض الاستطاعة والإضاءة والتسخين. حيث تتناسب الاستطاعة في جميع هذه الحالات مع مربع الجهد أو التيار.

دارات التيار المتناوب

المقاومة. عند تطبيق قوة محركة كهربائية جيبيةعلى طرفي مقاومة صرفة، سيكون التيار متفقاً في الطور مع القوة المحركة الكهربائية، ويعني ذلك بيانياً، أن منحني التيار سيتوافق مع منحني القوة المحركة الكهربائية. (أي ستكون قيمة ϕ في العلاقة السابقة مساوية للصفر). وسيتبع التيار قانون أوم كما يلي:

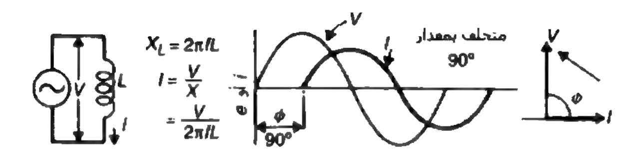
$$I = V / R$$

حيث V القيمة المنتجة للقوة المحركة الكهربائية المطبقة أو قيمة الجهد المطبق، R المقاومة بواحدة Ω (أوم)، أما I فهي القيمة المنتجة للتيار (انظر الشكل (1.9)).



الشكل (1.9)

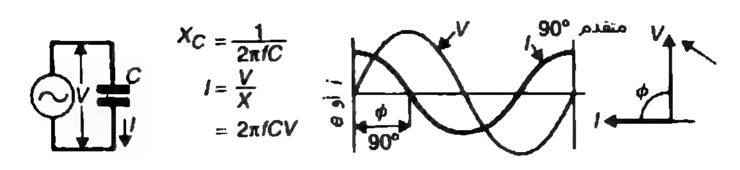
الممانعة التحريضية. عند تطبيق قوة محركة كهربائية جيبية على طرفي ملف تحريضي، سنجد بأن التيار سيكون: $I = V / [(2\pi f) L]$ ، حيث V الجهد (القيمة المنتجة)، f التردد، L المفاعلة التحريضية بواحدة الهنري. وهذه القيمة للتيار هي القيمة المنتجة. كما هو مبين في الشكل (1.10)، سيتأخر التيار خلف الجهد، وسيكون الفرق في الصفحة 90° (أي "$\phi = -90$"). يعبر الحد $(2\pi f)L$ عن الممانعة التحريضية X_l.



الشكل (1.10)

الممانعة السعوية. عند تطبيق قوة محركة كهربائية جيبية على طرفي مكثفة، سيعطى التيار بالعلاقة $I = (2\pi f).C.V$ ، حيث C سعة المكثفة بالفاراد. في هذه الحالة يتقدم التيار على الجهد بمقدار 90° (أي $\phi = +90^{\circ}$). كما هو مبين في الشكل (1.11). يعبر الحد $1/[(2\pi f).C]$ عن الممانعة السعوية X_C، ويعطى التيار في هذه الحالة بالعلاقة:

$$I = \frac{V}{X_C}.$$



الشكل (1.11)

المقاومة والممانعة التحريضية على التسلسل. يعطى تيار الدارة المبينة في الشكل (1.12) بالعلاقة:

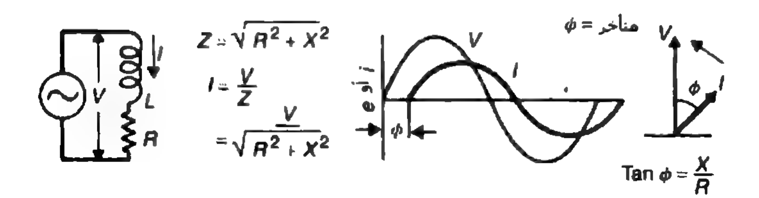
$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

حيث X_L الممانعة التحريضية ($X_L = (2\pi f)/L$). يدعى الحد $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ بالممانعة Z، وبهذا فإن I=V/Z . في هذه الحالة، سيتخلف التيار عن الجهد بزاوية التأخير ϕ التي

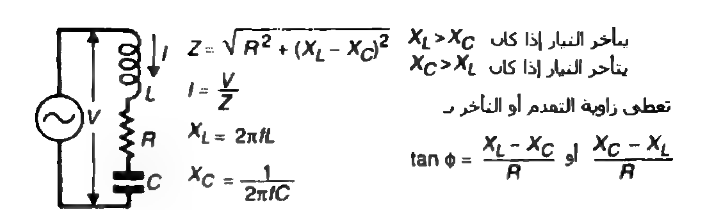
تعتمد على القيم النسبية لكل من R و X_L وتحسب قيمتها من العلاقة $\tan\phi = X_L / R$ وهي مبينة في الشكل (1.12a).

المقاومة والممانعة السعوية على التسلسل. يعطى تيار الدارة بالعلاقة:

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$



الشكل (1.12a)



الشكل (1.12b)

حيث X_C الممانعة السعوية ($1/(2\pi f C)$). في هذه الحالة، سيتقدم التيار على الجهد بالزاوية ϕ التي تحسب قيمتها من العلاقة $\tan\phi = X_C / R$.

مقاومة، ممانعة تحريضية، ممانعة سعوية على التسلسل. تعطى الممانعة الكلية لهذه الدارة بالعلاقة:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

و I=V/Z، وسيكون اختلاف الطور وفق أحد الشكلين:

$$\tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$
$$\tan\phi = \frac{X_C - X_L}{R}$$

وذلك يتعلق بالقيمة الأكبر لـــ X_L، X_C.

(حيث X_L الممانعة التحريضية، X_C الممانعة السعوية).

التيارات في الدارات التفرعية: يتم حساب التيار في كل فرع بشكل منفصل، وذلك باعتبار أن كل فرع يشكل دارة بسيطة مستقلة. ومن ثم يتم جمع هذه التيارات بشكل شعاعي بغية الحصول على تيار التغذية، وفق الطريقة الآتية:

نقوم بتحليل شعاع تيار كل فرع إلى مركبتين وفق محورين متعامدين (انظر الشكل (1.13)). أحد هذين المحورين هو لشعاع منبع القوة المحركة الكهربالية ويدعى بالمحور المتفق بالطور (in-phase axis)، أما المحور الثاني فيصنع مع الأول زاوية قدرها 90^o ويدعى بالمحور التربيعي (quadrature axis)، وعليه فإن تيار التغذية سيكون:

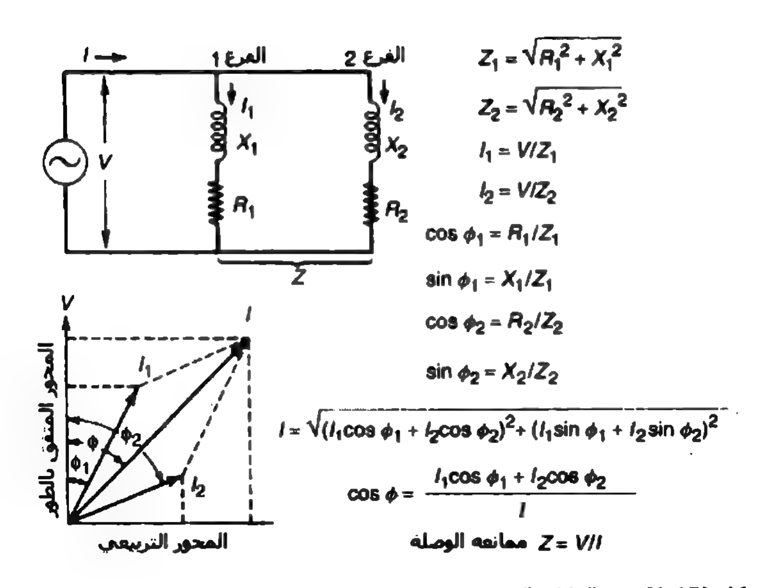
$$\sqrt{\left(\sum \text{in}-\text{phase components}\right)^2 + \left(\sum \text{in}-\text{quadrature components}\right)^2}$$

$$\cos\phi = \frac{\text{in}-\text{phase components}}{\text{supply current}}$$

وبالتالي، إذا رمزنا بـــ $I_1, I_2, \ldots$ لتيارات الدارات التفرعية، وبـــ $\phi_1, \phi_2, \ldots$ لفروق الصفحات الموافقة، فإن المركبات المتفقة بالطور ستكون $I_1.\cos\phi_1, I_2.\cos\phi_2, \ldots$، والمركبات العمودية عليها ستكون $I_1.\sin\phi_1, I_2.\sin\phi_2, \ldots$، وبالتالي سيأخذ تيار التغذية الشكل:

$$I = \sqrt{(I_1.\cos\phi_1 + I_2.\cos\phi_2 + \ldots)^2 + (I_1.\sin\phi_1 + I_2.\sin\phi_2 + \ldots)^2}$$

$$\cos\phi = \frac{I_1.\cos\phi_1 + I_2.\cos\phi_2 + \ldots}{I}$$



الشكل (1.13) الدارات التفرعية

يمكن الحصول على المقادير $\cos\phi_1 , \cos\phi_2 ....$ من العلاقات العامة

$$\cos\phi = \frac{\text{المقاومة}}{\text{الممانعة}} \quad \text{أو} \quad \sin\phi = \frac{\text{المفاعلة}}{\text{الممانعة}}$$

أو $\sin\phi = \frac{1}{I}\left[I_1 . \sin\phi_1 + I_2 . \sin\phi_2\right]$

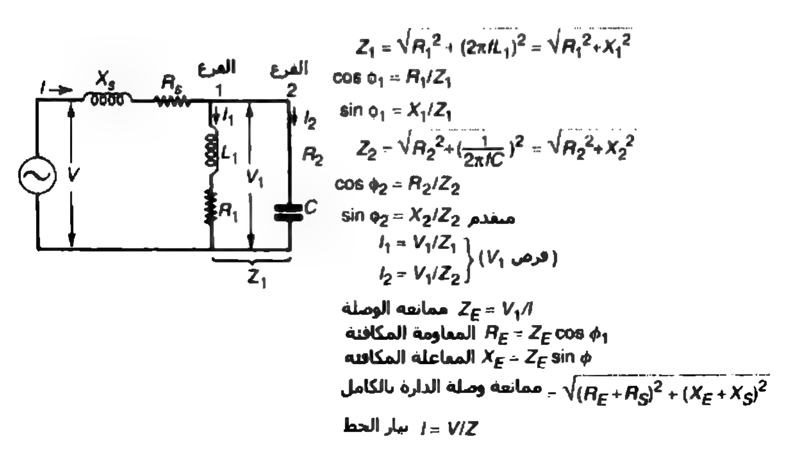
يمكن الحصول على الممانعة المكافئة للدارة بتقسيم خط الجهد على خط التيار. ويمكن حساب المقاومة والممانعة التحريضية المكافئة لهذه الممانعة من العلاقات:

$\cos\phi$ × الممانعة = المقاومة المكافئة للدارات التفرعية

الممانعة التحريضية المكافئة للدارات التفرعية =

$$\sqrt{(\text{الممانعة})^2 - (\text{المقاومة})^2} = \sin\phi \times \text{الممانعة}$$

التيارات في الدارات التسلسلية – التفرعية: الخطوة الأولى هي حساب ممانعة وصلة الجزء التفرعي من الدارة كما في الشكل (1.14)، وأسهل طرق القيام بذلك هي حساب تيارات الفروع وممانعة الوصلة والمقاومة المكافئة والممانعة التحريضية، تماما كما في الدارة التفرعية البسيطة، حيث يمكن أن يتم الحساب دون معرفة قيمة الجهد التفرعي للدارة (وهو مجهول في هذه المرحلة) وذلك عن طريق فرض قيمته بأنها V_1.



الشكل (1.14) الدارات التسلسلية - التفرعية

بعد الحصول على قيمة ممانعة الوصلة التفرعية Z_E، تضاف إلى الممانعة التسلسلية Z_S بشكل شعاعي وذلك للحصول على ممانعة الدارة الكلية Z. ومن أجل ذلك يمكن الحصول على التيار بسهولة وبالطرق المعهودة. إذاً، تتألف ممانعة الوصلة التفرعية Z_E من قسمين: المقاومة، والممانعة التحريضية. أي: $R_E = Z_E.\cos\phi_E$ و $X_E = Z_E.\sin\phi_E$، حيث ϕ_E فرق الصفحة.

يتم بعد ذلك جمع المقاومة مع الممانعة التحريضية للقسم التسلسلي من الدارة لحساب الممانعة الكلية.

بذلك، فإن حد المقاومة R لتوصيلة الممانعة Z للدارة الكلية يساوي إلى مجموع حدود المقاومات (R_L+R_S) للممانعات المنفصلة، وكذلك بالنسبة لحد الممانعة التحريضية الذي يساوي إلى مجموع حدود الممانعات التحريضية المنفصلة (X_L+X_S)، وهكذا تصبح الممانعة الكلية للدارة بأكملها:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{وخط التيار} = \frac{V}{Z}$$

الدارات ثلاثية الطور: يتم تحديد التيارات ثلاثية الطور بعد الأخذ بعين الاعتبار كل طور بشكل منفرد، ويتم حساب تيارات الأطوار من جهود الأطوار والممانعات بنفس الأسلوب المتبع في الدارات أحادية الطور. في التطبيقات العملية، تكون الأنظمة ثلاثية الطور متناظرة عادةً، حيث تتوازن الأحمال، عندئذ تصبح الحسابات مبسطة وصريحة. أما إذا لم تكن الأحمال متوازنة (المنظومة غيرُ متناظرة) فيجب العودة إلى المراجع الأكثر توسعاً لإجراء هذه الحسابات.

بعد حساب تيارات الأطوار، يمكننا تحديد خطوط التيارات من القواعد المبسطة التالية:

في النظام ذي التوصيل النجمي:

خط التيار = تيار الطور

خط الجهد = 1.73 × جهد الطور

في النظام ذي التوصيل المثلثي:

خط التيار = 1.73 × تيار الطور

خط الجهد = جهد الطور

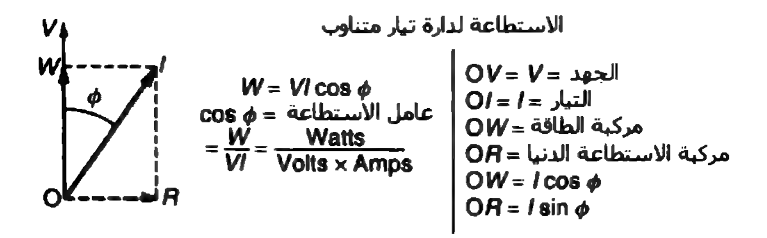
الاستطاعة في دارات التيار المتناوب: تحسب الاستطاعة لدارة أحادية الطور من العلاقة $W = V.I.\cos\phi$ حيث W الاستطاعة بواحدة الواط (W)، V القيمة المنتجة

للجهد، I القيمة المنتجة للتيار، cosϕ معامل استطاعة الدارة، والذي يعطى بالعلاقة:

$$\text{معامل الاستطاعة} = \cos\phi = \frac{W}{V.I} = \frac{\text{Wattes}}{\text{Volts} \times \text{Amperes}}$$

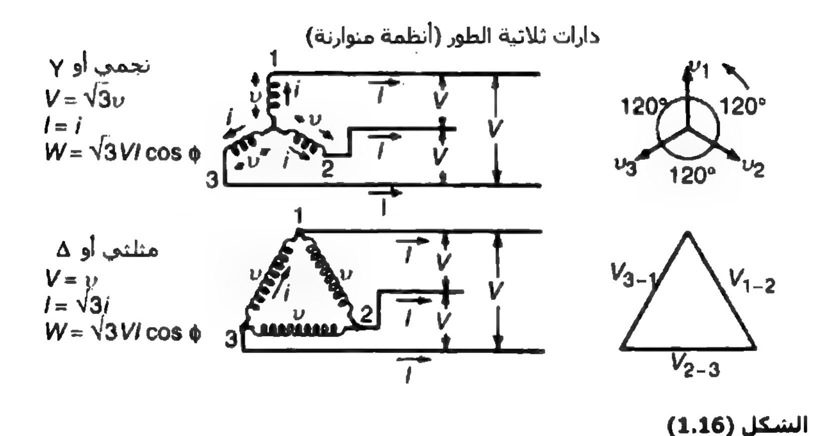
بالعودة إلى الشكل (1.15)، يمثل الرمز I التيار المتخلف بزاوية مقدارها ϕ، حيث يمكن تحليل هذا التيار إلى مركبتين: OW مركبة الطاقة، OR المركبة اللاواطية (wattless component). يمكننا الاستفادة من مركبة الطاقة فقط لحساب قيمة الاستطاعة وفي هذه الحالة، تعطى الاستطاعة بالعلاقة التالية:

$$OV \times OW = OV \times OI.\cos\phi = V.I.\cos\phi$$



الشكل (1.15)

العمل ثلاثي الطور: يمكن توصيل الملفات الثلاثة لمولد التيار المتناوب ثلاثي الطور، أو المحول ثلاثي الطور بطريقتين كما هو مبين في الشكل (1.16)، العلاقة بين تيارات وجهود الأطوار، وبين تيارات وجهود الخط مشار إليها في هذا المخطط البياني.



الشكل (1.16)

الجدير بالملاحظة، أنه في التوصيل النجمي أو Y لدينا نقطة حيادية، وهي غير موجودة في التوصيل المثلثي. تكون المولدات ذات ملفات نجمية عادةً، وتستخدم النقطة الحيادية كأرضي. بينما في المحركات، فيمكن أن تكون إما نجمية أو مثلثية. لكن يستخدم التوصيل المثلثي عادةً في المحركات ذات الجهود المنخفضة والأحجام الصغيرة، بهدف التخفيف من حجم الملفات.

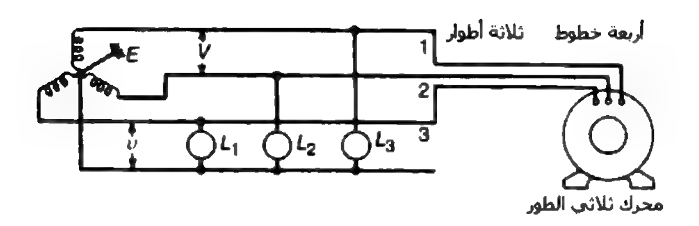
استطاعة دارة ثلاثية الطور: الاستطاعة الكلية لدارة ثلاثية الطور هي مجموع استطاعات الأطوار الثلاثة. فإذا أخذنا النظام النجمي المبين في الشكل (1.17)، وبفرض أن النظام متوازن (الجهود والتيارات متماثلة ومتساوية الأطوار)، فإن الاستطاعة الكلية ستكون ثلاثة أضعاف استطاعة الطور الواحد، أي:

$$W = 3.\vartheta.i.\cos\phi$$

بتعويض قيم الخطوط لجهد الطور وتيار الطور نجد:

$$W = 3(\vartheta.i)\cos\phi = 3\left(\frac{V}{\sqrt{3}}I\right)\cos\phi = \sqrt{3}\,VI\cos\phi$$

سوف نصل إلى نفس هذه العلاقة من أجل النظام المثلثي.



L3 L2 L1 هي حمولات أحادية عند الجهد v توجد الحمولات ثلاثية الطور من الخطوط 1، 2، 3 عند الجهد V ملاحظة $-V = \sqrt{3}\upsilon$

الشكل (1.17)

إذاً، في أي نظام متوازن، فإن الاستطاعة هي:

$$W = \sqrt{3}\, VI \cos\phi$$

حيث V و I تمثلان جهد وتيار الخط، $\cos\phi$ تمثل معامل الاستطاعة.

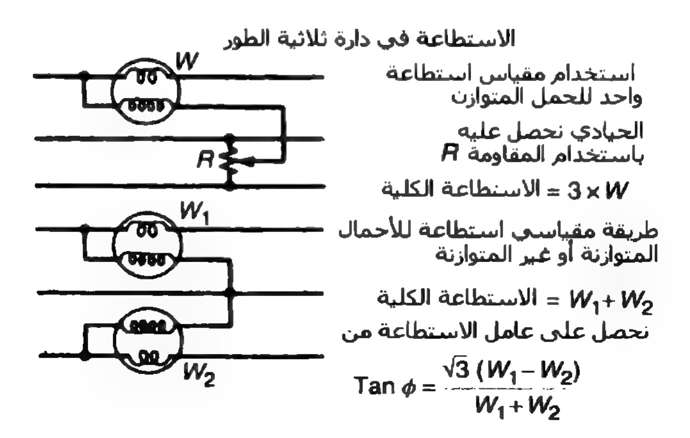
ملاحظة

العلاقة أعلاه غير سارية في الأنظمة غير المتوازنة.

يمكن افتراض أن معظم الأجهزة الكهربائية ثلاثية الطور (كالمحركات) تشكل حملاً متوازناً وبالتالي يمكن الاعتماد على هذه الفرضية في حسابات التيار .. الخ بغية استخدام العلاقة السابقة.

يتم قياس استطاعة الدارات ثلاثية الطور بعدة طرق، فمن أجل عمل لوحة المفاتيح، تستخدم وحدة قياس استطاعة ثلاثية الطور، تحوي على عنصرين عادةً، وبهذا، يدل القياس على توازن الأحمال أو عدمه. ومن أجل الاستقصاءات المرحلية، يمكن استخدام كلتا الطريقتين الموضحتين في الشكل (1.18). هذه الاستطاعة تمثل الاستطاعة الكلية وتساوي إلى 3W ، حيث تشير W إلى قراءة المقياس الإفرادي.

من أجل الأحمال غير المتوازنة، يجب استخدام وحدتين موصولتين كما يشير إلى ذلك الشكل (1.18). بالإضافة إلى قيمة الاستطاعة الكلية التي يمكن الحصول عليها بعد جمع قراءتي المقياسين، يمكن أن نحصل كذلك على معامل الاستطاعة.



الشكل (1.18)

من ناحية ثانية، من المهم الملاحظة، بأن قراءة أحد المقياسين ستنعكس فيما إذا كان معامل استطاعة المنظومة دون 0.5. في هذه الحالة، ربما نحتاج لعكس المقياس المتقدم بغية الحصول على القراءة الموجبة. عند انخفاض قيم معاملات الاستطاعة دون القيمة 0.5 ، فيجب طرح القراءات عوضاً عن جمعها، حيث يمكننا الحصول على معامل الاستطاعة من العلاقة:

$$\tan\phi = \frac{\sqrt{3}\,(W_1 - W_2)}{(W_1 + W_2)}$$

تعطي هذه العلاقة ظل زاوية التأخير، ويمكن بالتالي حساب جيب التمام (cos) من الجداول.

استطاعة دارة سداسية الطور: في الأنظمة سداسية الطور، والمستخدمة غالباً في القالبات الدوارة والمقومات، تعطى الاستطاعة (على أن يكون شرط التوازن محققاً) بالعلاقة:

$$W = 6VI\cos\phi$$

حيث V جهد الطور، و I تيار الطور.

عن طريق حدي جهد الخط V_L وتيار الخط I_L تصبح معادلة الاستطاعة كالتالي:

$$\frac{3}{\sqrt{2}}V_L I_L \cos\phi$$

في كلتا الحالتين، تعبر $\cos\phi$ عن زاوية الطور (فرق الصفحة) بين جهد وتيار الطور.

ثلاثة أطوار بأربعة أسلاك: يستخدم هذا النظام الشكل (1.17) حالياً في بريطانيا من أجل توزيع 400 V. فهناك ثلاثة خطوط وخط رابع حيادي. يساوي الجهد بين أي من هذه الخطوط والحيادي بشكل اسمي إلى 230 V ، والجهد بين الخطوط الثلاثة هو $\sqrt{3}$ مرة من الجهد بالنسبة للحيادي. وبهذا نحصل على جهد ثلاثي الطور بمقدار 400 V لتغذية المحركات، ...الخ.

لذلك، تؤخذ أحمال الطور الواحد من جميع الخطوط بالنسبة للحيادي، وللأحمال ثلاثية الطور تؤخذ من الخطوط الثلاثة الموسومة بالأرقام 1 ، 2 ، 3.

الجدير ذكره، أن قيم الجهود الاسمية العليا، تم اعتمادها في بريطانيا في كانون الثاني من عام 1995، وقد حلت محل القيم 415 V ثلاثي الطور و 240 V أحادي الطور المستخدمة سابقاً.

2

خصائص المواد

المواد المغناطيسية

الفولاذ منخفض الكربون: تشكل هذه المادة مسار الفيض المغناطيسي في معظم الآلات الكهربائية، كالمولدات والمحركات والمحولات، حيث تستخدم بسبب نفاذيتها العالية مما يعني إمكانية تحريض قدر أكبر من الفيض عن طريق بذل حد أدنى من الجهد الممغنط، إلى جانب امتلاكها عروة بطاء مغناطيسي منخفضة، الأمر الذي يخفف من الضياعات المرتبطة بالحقل المغناطيسي إلى أدنى المستويات. تترجم المراتب العالية من الفيض في إنتاج آلات أكثر فعالية من أجل حجم ووزن محددين.

لا تعاني آلات التيار المتناوب من الضياعات الحديدية الناتجة عن العروة فقط، كما مر معنا في الفصل الأول، ولكنها تعاني أيضاً من الضياعات الناتجة عن دوران التيارات لدى اجتيازها القلب الحديدي، والتي تعرف بالتيارات الإعصارية أو تيارات فوكو. يظهر هذان النوعان من الضياعات لدى تغذية الآلة بالطاقة، سواء بوجود الحمل أو عدمه، وتدعى بضياعات الآلة عند اللاحمل. جرى في بريطانيا في عام 1987/1988 تقدير عام لكلفة ضياعات القلب عند اللاحمل في المحولات قيد العمل، فكانت النتيجة 110 مليون جنيه استرليني، وهذا ما شكل أحد الدوافع القوية جداً للحد من هذه الضياعات.

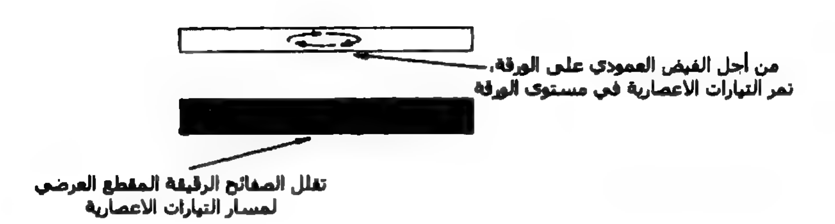
استخدم الحديد من النوع High-grade wrought في أول آلة أنتجت عام 1880، وبات معروفاً حوالي عام 1900 بأن إضافة كمية قليلة من السيليكون أو الألمنيوم تؤدي فعلاً إلى اختزال الضياعات المغناطيسية. وهكذا بدأت تكنولوجيا صناعة الفولاذ الخاص بالتطبيقات الكهربائية. فإضافة السيليكون تتسبب في تخفيض عروة البطاء المغناطيسي، وزيادة النفاذية والمقاومية، وكذلك تقلل من الضياعات التي تسببها التيارات الإعصارية. إلا أن هذه الإضافة سلبية وهي تحول الفولاذ باتجاه الهشاشة والقساوة أكثر. لذلك، بغية المحافظة على قابلية التشكيل بشكل كافٍ لتسهيل عملية صناعة القلب، يجب تحديد الكميات المضافة بحدود 4.5%.

إن زيادة المقاومية فقط هو إجراء غير كاف للحد من التيارات الإعصارية، ولذلك فمن الضروري تصنيع القلب على شكل صفائح رقيقة، وهي عبارة عن ألواح بسماكة 0.3mm تقريبا، معزولة عن بعضها البعض بشكل ممتاز، وبذلك يتم تخفيض مساحة المقطع العرضي للقلب الحديدي بدرجة كبيرة أمام اتجاه تدفق التيارات الإعصارية، وهذا تزداد المقاومة بشكل إضافي في وجه مسار التيارات الإعصارية. وهذا ما سيتم شرحه بالاعتماد على الشكل 2-1.

الفولاذ المسحوب على الساخن: يتم إنتاج ألواح الفولاذ الكهربائي التي تقتطع منها الصفائح الرقيقة فيما بعد عن طريق الدرفلة، وبسبب امتلاك الفولاذ بنية بلورية، تشتق خصائص الألواح المغناطيسية هذه من الخصائص المغناطيسية للبلورات أو الحبيبات المستقلة. خصائص هذه الحبيبات متباينة بحد ذاتها، وهذا يعني اختلافها وفق اتجاه قياسها.

كانت الخصائص المغناطيسية لألواح الفولاذ التي أنتجت لغاية عام 1940 بواسطة الدرفلة على الساخن والتي تم تجميع حبيباتها بشكل عشوائي، كانت متشابهة بصرف النظر عن اتجاه قياس تلك الخصائص. يمثل ذلك متوسط الخصائص في جميع الاتجاهات من خلال البلورات المستقلة، ولهذا كان لوح الفولاذ متشابه الخصائص.

الفولاذ متباين الخصائص: أصبح معروفاً في مطلع عام 1920 أنه إذا أمكن توجيه بلورات الفولاذ المستقلة لتصبح منتظمة (في اتجاه واحد)، فإن الفولاذ الناتج سيبدي خصائص مثالية فيما يتعلق بالخصائص المغناطيسية للبلورات.



الشكل (2.1) بناء القلب من الصفائح الرقيقة يزيد من المقاومة في مواجهة تدفق التيارات الإعصارية. كلما كانت الصفائح أرق، كلما كانت أكثر فعالية في مواجهة التيارات الإعصارية

تمكن الأمريكي N.P.Goss في منتصف عام 1930 من اختراع وتطوير عملية صناعية يمكنها فعل ذلك، وقد عرفت هذه المادة بالفولاذ ذي الحبيبات الموجهة المسحوب على البارد، ومن ثم تم تخفيض سماكتها حتى 2mm تقريباً عن طريق آلة سحب الفولاذ على الساخن. تلا ذلك تخفيضات أخرى للسماكة عبر سلسلة من مراحل التبريد التي تخللها معالجات حرارية عند درجات حرارة اقتربت من $900^{\circ}C$ حتى تم الوصول إلى السماكة النهائية وكانت بحدود 0.3mm.

للحد من تأكسد السطح ومنع المادة من الالتصاق بأسطوانات آلة الدرفلة، تم طلاء الفولاذ بطبقة من الفوسفات. يمتلك هذا الطلاء مقاومة عالية وكافية لأداء وظيفة العزل بين الصفائح الرقيقة في معظم الحالات، ولكن بشكل عام يجب إعادة عملية الطلاء بمادة الورنيش بشكل جيد.

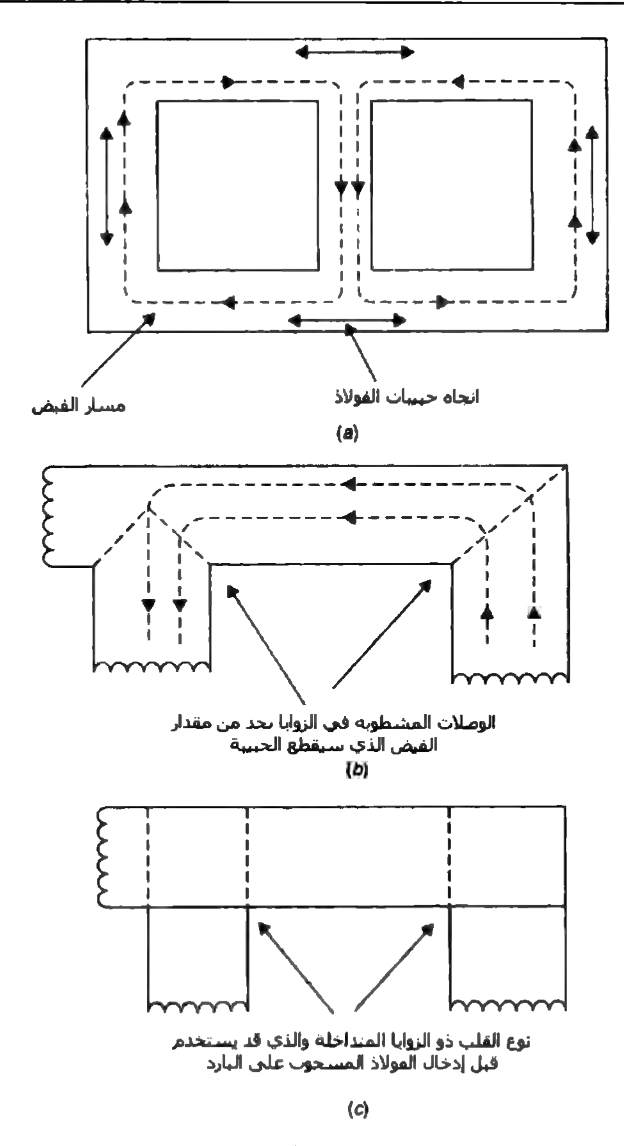
يتمتع الفولاذ ذي الحبيبات المنتظمة بخصائص مغناطيسية عالية جداً في اتجاه السحب بالمقارنة مع نفس الخصائص في الاتجاه العمودي على اتجاه السحب.

لتحقيق الفائدة القصوى من هذه المادة، يجب أن تستخدم في الآلة بحيث يمر الفيض بالاتجاه الطولاني، وهذا محقق بشكل خاص في حالة المحولات، حيث يمر الفيض فيها بشكل محوري وعلى طول مرحلة الدارة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (2.2). بالطبع، يجب أن يتقاطع الفيض مع خط الحبيبات أعلى وأسفل أرجل القلب، حيث يتم هنا ربط مقرن لفائف المغنطة كما هو مبين في الشكل (2.2b)،

ويمكن تصغير تقاطع مخطط الحبيبات إلى الحدود الدنيا عن طريق استخدام وصلات مشطبة (كما في زوايا إطارات الصور) عند تلك النقاط. قبل الانتقال إلى الفولاذ المسحوب على البارد، يمكن للوصلات رجل-لفة أن تتراكب وتتشابك ببساطة كما هو مبين في الشكل (2.2c).

الفولاذ عالي النفاذية: كما ذكرنا آنفاً، واصل الفولاذ المسحوب على البارد تحسنه بخطى ثابتة حتى نهاية عام 1960 حين أقدمت شركة Nippon Steel Corporation اليابانية على إحداث تغييرات إضافية في عملية إنتاج الفولاذ، وذلك بإدخال تعديلات هامة على عملية السحب على البارد تم الوصول من خلالها إلى تحسينات ملحوظة في درجة انتظام الحبيبات مقارنة بالسابق (انتظمت معظم الحبيبات بزاوية قدرها 3° عن المثالي بالمقارنة مع 6° في السابق). كذلك تم طلاء الفولاذ بطلاء زجاجي محسن جداً، منح هذا الطلاء الفولاذ مقاومة شد إضافية فادت إلى تخفيف ضياعات البطاء المغناطيسي، الأمر الذي سمح بإجراء بعض التخفيض في كمية السيليكون المحسنة لقابلية تشكيل المادة، وبالتالي خفف من الحواف الحادة، وجنب وصلها بالأرض. هذه الثنائية من خصائص الطلاء الممتازة، بالإضافة لخصائص العزل الممتازة، نفت الحاجة للعزل التقليدي وأدت إلى تبسيط عملية صناعة القلب، وامتلك القلب بحد ذاته معامل تكديس أفضل.

الفولاذ ذو الحقول النقية: أثناء عملية تنظيم الحبيبات، تنتظم بلورات الفولاذ ذي الحبيبات المنتظمة ضمن مجموعات كبيرة تدعى الحقول (domains). يرتبط جزء من ضياعات القلب بحجم هذه الحقول، فكلما كان حجم هذه الحقول أصغر، كلما خفض هذا الجزء من الضياعات. ويمكن تخفيض حجم الحقول هذه بعد عملية السحب على البارد عن طريق منح المادة قدراً صغيراً من الإجهاد، حيث يتم تحقيق ذلك عن طريق الحفر بالليزر، وبالتالي يشار إلى هذا النوع من الفولاذ عادة بالفولاذ المحفور بالليزر. يمكن بتطبيق بعض التحسينات على عملية سحب هذه المادة، التوصل إلى إنتاج ألواح رقيقة بسماكة تصل إلى 0.23mm وبالنتيجة النهائية نصل إلى تخفيض في الضياعات الناتجة عن التيارات الإعصارية.



الشكل (2.2) الوصلات المتداخلة عند تقاطع الأطراف مع مقرن لفائف المغنطة (yokes) يخفف مقدار الفيض العابر للحبيبات المنتظمة

الفولاذ غير المنتظم: تم تطوير الفولاذ غير المنتظم (amorphous steel) وفق توجه مختلف كلياً عن الفولاذ السيليكوني الذي عرضنا له آنفاً. فقد تم تطويره في الأصل عن طريق شركة .Allied Signal Inc. ففي مطلع عام 1970 تم في أمريكا طرح منتجات المواد المعدنية الزجاجية (metglas) كخيار بديل للفولاذ في تدعيم إطارات المركبات. ولم يكد ينتصف العام 1970 حتى تجلت وبوضوح أهمية الخصائص المغناطيسية لهذه المنتجات، لكن صعودها السلم التجاري انحصر في السنوات الخمس والعشرون الأخيرة، وذلك بسبب المصاعب الجمة التي واجهت إنتاجها ومعالجتها، ومع هذا فقد أتاح الفولاذ غير المنتظم تخفيضات هامة في الضياعات مقارنةً مع أفضل أنواع الفولاذ التقليدي.

للفولاذ غير المنتظم بنية غير بلورية حيث تتوزع الذرات فيها بشكل عشوائي، ويتم إنتاجه عن طريق تبريد السبيكة المنصهرة التي تحوي تقريباً نسبة 20% من زجاج العناصر كالبورون Boron تبريداً سريعاً جداً. إذاً يتم إنتاج هذه المادة عادةً عن طريق بخ تيار من السبيكة المنصهرة فوق اسطوانة نحاسية تدور بسرعة، ومن ثم يتم تبريد المادة المنصهرة بمعدل 10^6 درجة/ثانية، بعدئذ تتصلب مشكلةً شريطاً رفيعاً مستمراً، بعدها يخضع لمعالجة حرارية عند درجات حرارة تتراوح بين 200 و 280°C بغية الحصول على الخواص المغناطيسية المطلوبة.

كانت تشير المقادير الأولية من هذه المادة إلى شريط بعرض 2mm فقط، وسماكة تتراوح بين 0.05mm حتى 0.025mm تقريباً، ومع حلول منتصف عام 1990 كان عدد من الشركات قد نجح في إنتاج أشرطة من هذه المادة بعرض وصل إلى 200mm. في نهاية العام 1980، نجح المطورون الأصليون لهذه المادة في إنتاج أشرطة مدمجة كانت ناجحة فعلاً في بناء قلوب المحولات الموزعة بشكل متماثل. كل ذلك أسس لاستثمار هذه المواد في الولايات المتحدة بشكل أوسع منه في بريطانيا. الشكل (2.3) يبين محول توزيع تجريبي مصنّع في بريطانيا ويستخدم الفولاذ غير المنتظم.



الشكل (2.3) قلب وملفات محولة 200 kVA, 20/0.4 kV تستعمل فولاذ غير متبلور. لسوء الحظ فإن جزءاً بسيطاً من القلب مرئي، لكن يجب أن يكون واضحاً تماماً أن هذا الإنشاء متفاوت اللف. يجب أن يكون واضحاً أيضاً ضرورة الشد المحكم والمفصول، وكذلك ضخامة الحجم الفيزيائي للمحولة

توصيف فولاذ القلب: تعطى مواصفات المواد المغناطيسية عالمياً بما فيها فولاذ القلب، عن طريق المواصفات القياسية IEC 60404 وهي عبارة عن وثائق مجزأة تغطي جميع سمات وأنواع المواد المغناطيسية المستخدمة في الصناعات الكهربائية. وقد تحولت هذه المواصفات في بريطانيا إلى المواصفة BS IEC 60404-1. هذه المواصفة بجزأيها (1 و2) والمتعلقة بطرق قياس الخصائص المغناطيسية تم قبولها كمعايير أوربية.

المغانط الدائمة (الصب): أدخلت تحسينات هائلة على المواد المناسبة لإنتاج المغانط الدائمة، المواد الأقدم كانت التنغستين والفولاذ الكرومي، تبعها سلسلة من الفولاذ الكوبالتي. Alni كانت أولى خلائط الألمنيوم-النيكل-الحديد المكتشفة، ومع إضافة الكوبالت والتيتانيوم والنيوبيوم، تم تطوير خليطة Alnico للمغانط. حيث تختلف مواصفات كل منها باختلاف مركباتها، وهي قاسية وقصفة، ويمكن تشكيلها عن

طريق التحليخ فقط. على الرغم من وجود إمكانية محدودة لتعزيز بعض هذه المركبات بعد إجراء معالجة حرارية معينة.

اكتشفت جمعية المغانط (المنحلّة عام 1975) وجود خلائط معينة تصبح متباينة الخواص لدى معالجتها حرارياً ضمن حقل مغناطيسي قوي، ولهذا قامت بتطوير خصائص عالية باتجاه الحقل على حساب نفس الخصائص بالاتجاهات الأخرى، وقد قاد هذا الاكتشاف إلى سلسلة المغانط الجبارة Rycomax و Alcomax عن طريق استخدام تقانات صب خاصة بحيث اتخذت الحبيبات الموجهة المنتظمة أفضل الخصائص التي أمكن الحصول عليها حتى إذا طبق الحقل أثناء المعالجة الحرارية بشكل مواز للبلورات العمودية في المغناطيس.

المغانط الدائمة (الملبدة): يمكن تطبيق تقانات المساحيق المعدنية على أنواع خلائط Alnico المتجانسة والمتباينة الخصائص، ومن الممكن إنتاج مغانط دائمة ذات مغناطيسية متبقية أقل بمقدار 10% تقريباً عن مغانط الصب، ولدى استخدام طريقة الإنتاج هذه، يمكن الحصول على أشكال أكثر دقة بالإضافة إلى اعتبار طريقة الإنتاج هذه من الطرق الاقتصادية وبشكل خاص عند الإنتاج الكمي للمغانط الصغيرة.

تستخدم تقانة التلبيد أيضاً لصناعة المغانط الدائمة المؤكسدة المعتمدة على عنصر الباريوم (Barium) أو السترونتيوم (Strontium) سداسي الحديد، حيث يمكن لهذه المغانط أن تكون متجانسة أو متباينة الخواص، فامتلاكها الخواص الفيزيائية للسيراميك، والحد الأدنى من درجة الاستقرار وتكلفتها المنخفضة جعلها مثالية من أجل تطبيقات محددة.

يمكن توفير الباريوم الحديدي محاطاً بالمطاط أو البلاستيك على شكل شريط مشكل بالبثق أو على شكل ألواح مسحوبة (مدرفلة). تعتمد معظم المغانط الدائمة القوية، وتلك التي اكتشفت حتى اليوم، على مركب خلائطي مكون من الكوبالت والسماريوم، وتصنع أيضاً وفق تقانات المساحيق المعدنية (الجدول 2.1).

خلائط النيكل–الحديد: تصبح هذه الخليطة لامغناطيسية عملياً إذا انخفض محتواها من النيكل عن 25% ، لكن بازدياد هذه النسبة، وبإجراء المعالجة الحرارية المناسبة،

تتحول إلى مواد ذات نفاذية عالية يمكن أخذها بعين الاعتبار. تعرض الجداول (2.2a) و (2.2b) بعض الخلائط الأكثر انتشاراً مع خواصها المغناطيسية، وتشير إلى وجود مجموعتين واقعتين في المجال 36-50% . أما الخلائط ذات محتوى النيكل الأعلى فهي ذات نفاذية بدائية عظمى، إلا أنها ستحرض قوة مغناطيسية متبقية عالية وقوة مغناطيسية قهرية متدنية.

يتناول الجدول (2.3) التطبيقات النموذجية لهذه الخلائط، ويتضح منه بأن هذه المواد تناسب بشكل خاص تطبيقات الترددات العالية.

الجدول (2.1) خصائص المغانط الدائمة

المادة	المغناطيسية المتبقية T	القوة المغناطيسية القهرية KAm^{-1}	BH_{max} kJm^{-3}	Sp. Gr.	التوصيف
ISOTROPIC					
Tungsten steel 6% W	1.05	5.2	2.4	8.1	Rolled of forged steel
Chromium steel 6%Cr	0.98	5.2	2.4	7.8	Rolled of forged steel
Colbalt steel 3%Co	0.72	10.4	2.8	7.7	Rolled of forged steel
Cobalt steel 6%Co	0.75	11.6	3.5	7.8	Rolled of forged steel
Cobalt steel 9%Co	0.78	12.8	4.0	7.8	Rolled of forged steel
Cobalt steel 15%Co	0.82	14.4	5.0	7.9	Rolled or forged steel
Cobalt steel 35%Co	0.90	20	7.6	8.2	Rolled of forged steel
Alni	0.55	38.5	10	6.9	Cast Fe-Ni-Al
Alnico	0.75	58	13.5	7.3	Cast Fe-Ni-Al
Feroba 1 (sintered)	0.21	136	6.4	4.8	Barium ferrite
Bonded Feroba	0.17	128	5.6	3.6	Flexible strip or sheet
ANISOTROPIC					
Alcomax II	1.20	46	41	7.35	Cast Fe-Co-Ni-Al
Alcomax III	1.30	45	44	7.35	Cast
Alcomax IV	1.15	62	36	7.35	Cast Fe-Co-Ni-Al-Nb
Columax	1.35	59	60	7.35	Grain oriented Alcomax III
Hycomax II	0.75	96	32	7.3	Cast Fe-Co-Ni-Al-Nb-Ti
Hycomax III	0.92	132	44	7.3	Cast Fe-Co-Ni-Al-Ti
Hycomax IV	0.78	160	46	7.3	Cast Fe-Co-Ni-Al-Ti
Columnar Hycomax III	1.05	128	72	7.3	Grain oriented
Feroba II	0.35	144	26.4	5.0	Barium ferrite
Feroba III	0.25	200	20	4.7	Barium ferrite
Sintered Sm Co_5	0.80	600	128	8.1	Cobalt-samarium

الجدول (2.2a) خصائص خلائط النيكل-الحديد عالية النفاذية (75-80% Ni-Fe)

الخاصية	Mumetal*	Nilomag	Permalloy** C
النفوذية الابتدائية	60 000	50 000	50 000
النفوذية العظمى	240 000	250 000	250 000
التحريض الحدي (B_{sat}) تسلا	0.77	0.70	0.80
المغناطيسية المتبقية(B_{rem}) تسلا	0.45	0.40	0.35
القوة المغناطيسية H_c (A/m)	1.00	1.60	2.4

* Mumetal: سبيكة عالية النفوذية المغناطيسية (من الحديد والنيكل والنحاس والمنغنيز)

** Permalloy: سبيكة عالية النفوذية المغناطيسية

الجدول (2.2b) خصائص خلائط النيكل-الحديد عالية النفاذية (36-50% Ni-Fe)

الخاصية	Radiometal 50	Permalloy B	Nilo alloy 45	Radiometal 36	Nilo alloy 36
النفوذية الابتدائية	6 000	5 000	6 000	3 000	4 000
النفوذية العظمى	30 000	30 000	30 000	20 000	18 000
التحريض الحدي (B_{sat}) تسلا	1.6	1.6	1.2	1.2	0.8
المغناطيسية المتبقية(B_{rem}) تسلا	1.0	0.4	1.1	0.5	0.4
القوة المغناطيسية H_c (A/m)	8.0	12.0	16.0	10.0	10.0

النحاس وخلائطه

تتغير المقاومة الكهربائية للنحاس - كما في بقية المعادن الصرفة - كتابع لدرجة الحرارة، ويعتبر هذا التغير كافياً للتخفيف من الناقلية العالية للنحاس عند درجة الحرارة 100°C إلى حوالي 76% من قيمتها عند درجة الحرارة 20°C، وتعطى المقاومة بالعلاقة:

$$R'_t = R_t\left[1+\alpha_t(t'-t)\right]$$

حيث α_t معامل درجة حرارة الكتلة الثابتة لمقاومة النحاس عند درجة الحرارة المرجعية t°C. عندما تكون درجة الحرارة المرجعية 0°C تصبح العلاقة على النحو:

$$R_t = R_0\left(1+\alpha_0 t\right)$$

على الرغم من إمكانية اعتبار المقاومة كتابع خطي بالنسبة لجميع التطبيقات العملية، فإن معامل درجة الحرارة غير ثابت، ويتغير بتغيرها ويعتمد عليها وعلى درجة الحرارة المرجعية وفق العلاقة:

$$\alpha_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0}+t} = \frac{1}{234.45+t}$$

الجدول (2.3) التطبيقات النموذجية لخلائط النيكل-الحديد ذات النفاذية العالية

التطبيقات	النيكل %Nickel		
	70~85	45~50	36
المحول			
نبضي	×	×	×
الصوت	×	×	
الميكروفون	×		
التيار	×		
الخرج		×	
الاستطاعة الصغيرة		×	
الترددات العالية		×	×
المضخمات المغناطيسية	×	×	
الشاشات المغناطيسية	×	×	
رؤوس مسجلات الكاسيت		×	
القلب والمتحرض		×	×
المحركات الصغيرة، المواقت، الثابت والدوار	×		
دارات الترشيح	×		

وعليه، يكون معامل درجة حرارة كتلة ثابتة من النحاس المتعلق بدرجة الحرارة المرجعية 0°C لكل درجة مئوية:

$$\alpha_0 = \frac{1}{234.45} = 0.004265$$

وتصبح قيمته عند درجة الحرارة 20°C:

$$\alpha_{20} = \frac{1}{234.45 + 20} = 0.00393$$

وهي القيمة المعتمدة من قبل IEC.

تربط ثوابت المضاعفات وأجزائها بين مقاومة النحاس عند درجة الحرارة القياسية، والمقاومة عند درجات الحرارة الأخرى، ويمكن الحصول على هذه الثوابت من جداول المواصفات القياسية البريطانية ذوات الأرقام BS 1432-1434، 4109، 7884. سنناقش فيما يلي خمس خلائط ذات تطبيقات واسعة في الصناعات الكهربائية، حيث تبرز الحاجة للموصلية الكهربائية العالية. وهذه الخلائط الخمس هي: الكروم-النحاس، التيلليريوم-النحاس، الكبريت-النحاس، الكادميوم-النحاس، الفضة-النحاس. ويمكن الحصول على هذه الخلائط مشغلة بالحرارة والتطريق وبشكل خاص خلائط الكروم-النحاس، التيلليريوم-النحاس، الكبريت-النحاس.

تتراوح قيم المقاومية الكهربائية بين 1.71 μΩ.cm لخليطة النحاس-الفضة في الحالة اللدنة، وتصل حتى 4.9 μΩ.cm لخليطة الكروم-النحاس المعالجة حرارياً، وذلك عند درجة الحرارة 20°C.

يتم تحديد الخرج الرئيسي لكل خليطة بواسطة التطبيق الرئيسي الذي يحتاجها، فعلى سبيل المثال، يتم إنتاج خليطة الكادميوم-النحاس على شكل أسلاك من العيار الثقيل وبمقاطع خاصة، بينما تتم صناعة خليطة النحاس-الفضة عادةً على شكل مقاطع مسحوبة أو أشرطة، وإلى حد كبير، يتم إنتاج خليطة الكروم-النحاس على شكل قضبان أو على شكل سبائك بالحرارة والتطريق، كما يكون الشكل الشريطي متاحاً أيضاً.

يؤدي الاختلاف في نسب عناصر هذه الخلائط الخمس إلى اختلاف خصائصها تماماً. في المستويات التجارية الطبيعية، تكون هذه النسب:

الكادميوم–النحاس	0.7-1.0	%	كادميوم
الكروم–النحاس	0.8-0.4	%	كروم
الفضة–النحاس	0.1-0.03	%	فضة
التيلليريوم–النحاس	0.7-0.3	%	تيريلليوم
الكبريت–النحاس	0.6-0.3	%	كبريت

إن خلائط الكادميوم–النحاس والكروم–النحاس والكبريت–النحاس هي خلائط مختزلة، أي أنها تحتوي على كميات صغيرة مسيطر عليها من المواد المؤكسدة. أما خليطة الفضة–النحاس فهي مثل النحاس عالي الموصلية. يمكن أن تكون نحاس عالي (though pitch) (يحوي نسبة من الأوكسجين تتراوح بين 0.04-0.06%) أو خالية من الأوكسجين. بينما يمكن أن تتخذ خليطة التيلليريوم–النحاس أحد الشكلين القاسي أو المختزل. يصبح النحاس العالي (though pitch) وخلائطه قصفاً عند ارتفاع درجة الحرارة في الأجواء غير المساعدة على التأكسد (الأجواء المختزلة reducing atmosphere)، وبالتالي، أمام هذه الظروف أو الشروط المحتملة، يجب استخدام المواد الخالية من الأوكسجين أو المواد المختزلة.

الكادميوم–النحاس: تمتاز هذه الخليطة بمقاومة عالية للإجهادات الثابتة أو المتغيرة، وبمقاومة ضد التآكل أفضل من النحاس الصرف. وهي تناسب بشكل خاص أسلاك تماسات السكك الحديدية الكهربائية، خطوط الترام، حافلات النقل الكهربائية، الروافع الجسرية، والتجهيزات والمعدات المشابهة. كما تستخدم أيضاً لأسلاك الهاتف، ولخطوط نقل القدرة للمسافات البعيدة. وبسبب احتفاظها بقساوتها ومقاومتها الميكانيكية المنتقلة إليها بواسطة العمل على البارد عند درجة حرارة تفوق تلك التي تؤمن الموصلية العالية للنحاس، فإنها ستلين وتصبح أكثر ملاءمةً للتطبيق في مجالات أخرى مثل حوامل إلكترودات آلات اللحام بالمقاومة،

وأفران القوس الكهربائي، وإلكترودات اللحام النقطي ولحام الدرزة كالفولاذ. ولذلك تستخدم من أجل قضبان مبدلات أنماط محددة من المحركات الكهربائية.

وبسبب حد مرونتها العالي نسبياً الذي تحوزه أثناء شروط العمل القاسية، فإنها تستخدم كذلك وإلى حد ما للنوابض الصغيرة المستخدمة لحمل التيار، وعندما يتم إنتاجها على شكل شريط رفيع ملفوف، يبرز استخدامها في تفريز أغمدة الكابلات العاملة تحت ضغوط داخلية. وعند صب هذه المادة، وهذا نادر، يكون لها تطبيقات محددة من أجل مكونات مفاتيح القيادة الكهربائية، والملفات الثانوية لمحولات آلات اللحام.

عندما تنكشف هذه المادة للجو، فإنها تحتاج لغشاء أوكسيدي يغطيها لتأمين حماية طبيعية بالنحاس، ويمكن لهذه المادة أن تستخدم في اللحام الناعم كلحام الفضة أو القصدير بنفس الطرق العادية كالنحاس. وفي حال انقشاع المواد المؤكسدة فليس هناك خطر حدوث التقصف عن طريق اختزال الغازات خلال مثل هذه العمليات.

الكروم–النحاس: تناسب هذه الخليطة بشكل خاص التطبيقات التي تحتاج إلى مقاومة أكبر من تلك التي يؤمنها النحاس الصرف. على سبيل المثال، من أجل إلكترودات اللحام بنوعيه النقطي والدرزة. تستخدم الأشرطة، وفي حدود أقل، الأسلاك من أجل النوابض الخفيفة المستخدمة لحمل التيار. وهناك تطبيق آخر وهو استخدامها في أجزاء موحدات التيار التي تعمل عند درجات حرارة أعلى من تلك التي نصادفها في الآلات الدوارة.

يمكن استخدام هذه الخليطة بعد معالجتها حرارياً عند درجات حرارة تصل إلى 350°C دون حدوث أي تراجع في خصائصها. وتصبح هذه الخليطة إذا ما عولجت حرارياً أكثر نعومة وقابلية للتشغيل، وفي حالتها الصلبة فإنه ليس من الصعب قصها، ولكنها سهلة التشغيل كالنحاس الأصفر الحاوي على الرصاص (البرونز) أو خليطة النحاس–التيريلليوم.

تشابه هذه الخليطة النحاس العادي فيما يتعلق بالأكسدة، وتتقشر عند درجات الحرارة العالية. طرق التوصيل القابلة للتطبيق مماثلة للطرق المتعلقة بخليطة

الكادميوم-النحاس الواردة أعلاه، كما هو الحال في خليطة الكادميوم-النحاس حيث تبرز الحاجة لفيوض خاصة عند شروط معينة، ولذلك يجب أن تحتوي على الفلوريدات. يمكن لحام خليطة الكروم-النحاس باستخدام التقانات الحديثة للحام القوس المحمي بالغاز.

الفضة-النحاس: تمتاز هذه الخليطة بناقلية كهربائية مساوية لناقلية النحاس عالي الموصلية، فضلاً عن امتلاكها خاصتين هامتين في التطبيقات العملية، الأولى درجة حرارة تليينها بعد تقسيتها على البارد أعلى بشكل معتبر من تلك الخاصة بالنحاس الصرف، والثانية مقاومتها المحسنة ضد الزحف عند درجات حرارة التقشر المعتدلة.

يرتبط الاستخدام الرئيسي لهذه الخليطة بالآلات الكهربائية العاملة تحت درجات حرارة أعلى من العادية، أو تلك المكشوفة خلال التصنيع كما في اللحام الطري أو تحمية المواد العازلة.

يمكن الحصول على هذه المادة بعدة أشكال، منها السحب القاسي، أو القضبان المدرفلة، والمقاطع بشكل خاص لدى استخدامها في أجزاء مبدلات التيار والقضبان الدوارة، وتطبيقات مماثلة. كذلك تتوفر على شكل نواقل مفرعة وأشرطة، ومن النادر طلبها في شروط الإحماء، وذلك بسبب خاصتها المدهشة المرتبطة بالاحتفاظ بالعمل بصلابة عند درجات حرارة التقشر.

يمكننا، وبسهولة، تطبيق عدة أنواع من اللحام على هذه المادة كاللحام الطري ولحام الفضة ولحام النحاس لكن درجة الحرارة المطلوبة في هذه العمليات (ما عدا اللحام الطري) تكون كافية لتلدين المعدن في شروط العمل البارد. وبما أن المواد العالية (tough-pitch) تحتوي الأوكسجين على شكل جزيئات موزعة في الأوكسيد النحاسي، فمن الهام تجنب التسخين عند اللحام النحاسي، ودرجات الحرارة عند اللحام في الجو المختزل.

بما أنه لا يمكن النظر لهذه الخليطة كمادة سهلة القطع، فإن تشغيلها ليس صعباً، وهذا صحيح بشكل خاص عندما تكون في شروط التقسية بالتشغيل، الحالة التي تغذى بها عادةً. فهي تشابه النحاس العادي في مقاومته للتآكل. وعند استخدام

الفيوض الآكلة تستخدم في السباكة، يجب غسل فضلات السباكة بعناية بعد الانتهاء من هذه العملية.

التيلليريوم–النحاس: تمتاز هذه الخليطة بسهولة تشغيلها، إلى جانب ناقليتها الكهربائية العالية، والاحتفاظ بصلابتها عند عملها تحت درجات حرارة التقشر، ومقاومتها الجيدة ضد التآكل. وهي غير مناسبة لأغلب إجرائيات اللحام، ولكن – مع بعض الانتباه – يمكننا تطبيق بعض العمليات عليها من قبيل اللحام بالقوس المحمي بالغاز، واللحام بالمقاومة. التطبيق النموذجي لهذه المادة هو لأجسام الصمام المفرغ ذي المجال المغناطيسي، حيث في العديد من الحالات، يتم تصنيع هذه الأجسام من كتل صلبة من هذه المادة.

يمكننا، وبسهولة، تطبيق عدة أنواع من اللحام على هذه المادة كاللحام الطري ولحام الفضة ولحام القصدير من دون صعوبات تذكر. من أجل المواد العالية، يجب تنفيذ لحام القصدير في محيط خامل (أو مؤكسد قليلاً)، وذلك لأن المحيط المختزل يؤدي إلى التقصف، وتأكسد هذه الخليطة لا يعرضها للتقصف.

الكبريت–النحاس: مثل خليطة التيلليريوم–النحاس، هذه المادة هي خليطة تتمتع بناقلية عالية، سهلة التشغيل، ذات مقاومة تليين أعلى من تلك العائدة للنحاس عالي الناقلية عند درجات حرارة تقشر معتدلة، وبمقاومة جيدة للتآكل. تكافئ في قابلية تشغيلها لخليطة التيلليريوم–النحاس، لكن دون ميل ظاهر لتشكيل عروق معدنية خشنة في بنيتها قد تؤثر على دقة الإنهاء في عمليات التشغيل الدقيقة. لهذه الخليطة تطبيقات في جميع الأجزاء المشغلة التي تحتاج إلى ناقلية كهربائية عالية مثل التماسات، الموصلات، والمكونات الكهربائية الأخرى. وميزات ربطها مشابهة لتلك المتعلقة بخليطة التيلليريوم–النحاس.

تتأكسد هذه المادة بواسطة كميات مسيطر عليها من الفوسفور، ولذلك فهي لا تعاني من تقصف الهيدروجين في عملية اللحام العادي بالحملاج، ويمكن أن يؤدي تعرضها لفترة زمنية طويلة للمحيط المختزل لبعض الضياعات في الكبريت، وبعض التقصفات المتعاقبة.

الجدول (2.4) الخواص الفيزيائية لخلائط النحاس

الخاصية	الكادميوم -النحاس	الكروم-النحاس	الفضة-النحاس	التيلليريوم -النحاس	الكبريت-النحاس
الكثافة عند 20°C (10^3 kgm^{-3})	8.9	8.90	8.89	8.9	8.9
عامل التمدد الطولي (20-100°C) (10^6 K^1)	17	17	17.7	17	17
معامل المرونة (10^9 Nm^{-2})	132	108	118	118	118
الحرارة النوعية عند 20°C (kJkg^{-1} K^{-1})	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39
الناقلية الكهربائية عند 20°C (10^6 Sm^{-1})					
ملدن	46-53	-	57.4-58.6	56.8	55.1
معالج حرارياً	-	20	-	-	-
مقساة بسرعة	-	44-49	-	55.7	-
المقاومية عند 20°C (10^{-8} Ω m)					
ملدن	2.2-1.9	-	1.74-1.71	1.76	1.81
معالج حرارياً	-	4.9	-	-	-
مقساة بسرعة	-	2.3-2.0	-	-	-
التشغيل على البارد	2.3-2.0	-	1.78	1.80	1.85

الألمنيوم وخلائطه

لعدة سنوات خلت، استخدم الألمنيوم كمادة ناقلة في معظم فروع الهندسة الكهربائية، فإلى جانب الألمنيوم الصرف، تعتبر العديد من خلائطه أيضاً من النواقل الجيدة، حيث تجمع فيما بين البنية المقاومة، والناقلية المقبولة. والألمنيوم أخف وزنا من النحاس (حوالي ثلث الكثافة)، ولهذا فهو سهل التعامل والمناولة، وكذلك هو الأرخص. بالإضافة إلى أمر هام آخر، وهو أن كلفته ليست عرضة للتقلبات كما

هي حال النحاس. فقد وقف الارتفاع الحاد في سعر النحاس على المستوى العالمي بين عامي 1960-1970 وراء الكثير من الاقتراحات والطلبات المحرضة على اللجوء لاستخدام الألمنيوم في المواقع التي كان يشغلها النحاس في السابق، في بعض التطبيقات على سبيل المثال، الأسلاك الكهربائية المترلية، المحولات ذات الملفات الرقيقة. فيما بعد، تبين أن الألمنيوم أقل ملاءمةً مما كان مأمولاً منه في البداية، وهكذا مع نهاية عام 1990، كان هناك البعض ممن عاد لاستخدام النحاس، وبات استخدام الألمنيوم محصوراً في التطبيقات التي يناسبها أكثر من غيره وبشكل واضح.

هناك مجموعتان من المواصفات القياسية البريطانية للألمنيوم، تغطي إحداها ألمنيوم الأغراض الكهربائية، وهي تعود للألمنيوم ذي درجة النقاوة العالية، مع التركيز على الخصائص الكهربائية، بينما تتناول الأخرى ألمنيوم الأغراض الهندسية العامة الأخرى.

يغطي الألمنيوم المخصص للأغراض الكهربائية درجات من الناقلية تقع في المجال IACS 55-60% (IACS: النحاس القياسي العالمي المعالج حرارياً)، وتتضمن الألمنيوم النقي. وفيما يلي المواصفات البريطانية القياسية المتعلقة بالألمنيوم.

BS 215 الجزء 1: (IEC 207): نواقل الألمنيوم المجدولة المخصصة لأغراض نقل الطاقة.

الجزء 2: (IEC 209): نواقل الألمنيوم المدعم بالفولاذ، من أجل خطوط توزيع الطاقة.

BS 2627: ألمنيوم تشكيل، للأغراض الكهربائية - أسلاك.

BS 2897: ألمنيوم تشكيل، للأغراض الكهربائية - شريط ذو حواف مسحوبة أو مدرفلة.

BS 2898: ألمنيوم تشكيل، للأغراض الكهربائية - قضبان، أنابيب ومقاطع مبثوقة دائرياً.

BS 3242: (IEC 208): نواقل خلائط الألمنيوم المجدولة المخصصة لأغراض نقل الطاقة.

BS 3988: ألمنيوم تشكيل، للأغراض الكهربائية - نواقل صلبة للكابلات المعزولة.

BS 6360: مواصفات النواقل في الكبلات والأسلاك المعزولة.

تتضمن مجموعة المواصفات هذه، التصنيف 1350 (1E سابقاً) للألمنيوم النقي ذي الناقلية 61%IACS تقريباً، والتصنيف 6101A (91E سابقاً) لخليطة قابلة للمعالجة الحرارية، ذات مقاومة معتدلة وناقلية بحدود 55%IACS .

يتضمن الألمنيوم المعد للاستخدامات الهندسية العامة أصنافاً ذات ناقلية أقل من 30%IACS ، لكنها ذات مقاومة عالية تصل إلى 60% من مقاومة الفولاذ، مع التركيز الكبير على الخواص الميكانيكية، والتي تغطيها المواصفات القياسية البريطانية التالية:

BS 1471: ألمنيوم تشكيل وخلائط ألمنيوم - أنابيب سحب.

BS 1472: ألمنيوم تشكيل وخلائط ألمنيوم - منتجات مشكلة حرارياً.

BS 1473: ألمنيوم تشكيل وخلائط ألمنيوم - منتجات براشيم وبراغي وصواميل.

BS 1474: ألمنيوم تشكيل وخلائط ألمنيوم - قضبان، أنابيب ومقاطع مبثوقة دائرياً.

BS 1475: ألمنيوم تشكيل وخلائط ألمنيوم - أسلاك.

جميع هذه الوثائق تعتمد المعيار ISO 209 ولكنها لا تماثله.

BS 1490: قوالب ألمنيوم وسبائك (تعتمد المعيار ISO 3522 ولا تماثله).

BS EN 485: الألمنيوم وخلائطه -صفائح - أشرطة - ألواح.

تتضمن هذه المجموعة من المواصفات، التصنيف 1050A (1B سابقاً) بناقلية 61.6%IACS، والتصنيف 1080A (1A سابقاً) بناقلية 61.6%IACS، والتصنيف 1200 (1C سابقاً) بناقلية 59.5%IACS.

تستخدم هذه الأصناف عادةً في الأشكال الصفيحية حتى سماكة 10mm، أو الألواح ذات السماكة التي تتجاوز 10mm.

قضبان التوصيل: استخدم الألمنيوم في قضبان التوصيل على مدى أكثر من 60 عاماً، ومنذ العام 1960، بدأ استخدامه يتزايد في جميع مجالات تطبيق قضبان التوصيل بسبب خفة وزنه ومتانته، بينما اقتصر استخدام الألمنيوم المستوي على قضبان توصيل الشبكات الفرعية عند 275kV و 400kV، وكذلك انتشر استخدامه في محطات 132kV المعاد تحديثها أو توسيعها.

بسبب توفر مقاطع ضخمة من القضبان المسبوكة (حتى 600x150mm)، فقد استخدم الألمنيوم في المنشآت الصناعية الضخمة كمنشآت الصهر والمنشآت

الإلكتروكيميائية، وكذلك استخدم لمجموعة المفاتيح الكهربائية وأنظمة المآخذ الرئيسية للمصاعد بسبب خفة وزنه مقارنة مع النحاس. أما سيئة الألمنيوم الرئيسية فتكمن في سرعة تأكسده عندما يتم تحضير سطحه للربط بواسطة براغي الشد.

أجريت عدة أبحاث على CEGB السابق، وخاصةً مع التيارات الكبيرة التي تظهر بين المولد ومجموعة المحولات المرتبطة، وقد أسفرت تلك الأبحاث عن عدد من التحسينات المحددة والهامة في مجال تقانات الربط بواسطة البراغي لقضبان توصيل الألمنيوم المعرضة للفك بشكل متكرر، وهي طلاء تلك السطوح، بشكل متكرر، باستخدام الفضة أو القصدير.

الكبلات: يستخدم الألمنيوم بشكل واسع كناقل ذي مساحة مقطع عرضي تزيد عن $16mm^2$ من أجل كبلات الطاقة حتى 60kV. ولا يستخدم عادةً في التركيبات المنزلية بسبب طبيعة وصلاته الخاصة وتقانات الإنهاء اللازمة لضمان إطالة عمره من أجل الصيانة.

خطوط نقل الطاقة: تستخدم خطوط نقل الطاقة الكهربائية المصنعة من a.c.s.r (الألمنيوم المدعم بالفولاذ) بشكل واسع لأنظمة توزيع الطاقة. حيث بدأ يتصاعد استخدام a.c.a.r (أسلاك الألمنيوم، خلائط الألمنيوم المدعومة بالفولاذ) منذ العام 1960، وذلك بسبب التغلب على مخاطر التآكل بسبب الثنائية المعدنية، وبسبب تحسن ناقليته لمقطع عرضي محدد. وكذلك تفضيل سلطات السكك الحديدية سلسلة النواقل a.c.a.r لدعم أسلاك توصيل الخطوط الكهربائية العلوية بسبب خفة الوزن، والخسائر المادية المنخفضة الناجمة عن السرقات مقارنةً مع النحاس.

المحركات: غالباً ما تستخدم قضبان الألمنيوم لتصنيع أقفاص الأجزاء الدوارة للمحركات التحريضية، وغالباً ما يتم تصنيع الأغلفة (الأغطية) من هذه المادة، كما يتم استخدامها في تصنيع مراوح تبريد المحركات.

الملفات الرقيقة: يعد استخدام الألمنيوم لصناعة ملفات المكثفات نموذجياً، انطلاقاً من أصغر أنواعها والمستخدمة في تجهيزات الإنارة، وصولاً إلى مكثفات الطاقة الضخمة. كما تناسب هذه الملفات الرقيقة بعض المحولات والوشائع والملفات التحريضية.

تتراوح سماكة الرقائق بين 0.04mm وحتى 1.2mm في 34 خطوة، يتم الحصول على معامل ملء حيز أفضل من وشائع النحاس الملفوفة، حيث يشغل ناقل الألمنيوم ما يقارب 90% من الحيز مقارنة مع 60% للناقل النحاسي، وهذا ما يساعد في عمليات التبريد والتسخين عن طريق معامل الملء الأفضل، تضمن الحاجة إلى كميات أقل من العوازل للوشائع الرقيقة الملفوفة الانتقال المحوري السريع للحرارة والتدرج الحراري المتوازن.

تكمن سيئة الألمنيوم في مقاومته الميكانيكية الضعيفة، وبشكل خاص عند تصنيع الملفات والنواقل، الأمر الذي قاد لاستخدام رقائق النحاس لإنتاج الملفات منخفضة الجهد والمعزولة هوائياً، ومع ذلك، غالباً ما يطغى استخدام رقائق الألمنيوم أكثر من النحاس في إنتاج ملفات المحولات عالية الجهد (HV) المعزولة بمادة الراتنج المسبوكة، وبما أنها ذات معامل تمدد حراري يقترب من معامل التمدد الحراري للراتنج المادة المغلفة فإن ذلك يخفف من الإجهادات الحرارية الناشئة عند الحمل.

الجدول (2.5) الثوابت والخصائص الفيزيائية للألمنيوم النقي والخفيف جداً

العدد الذري	13
الحجم الذري	$10\ cm^3/g\text{-}atom$
الوزن الذري	26.98
التكافؤ	3
البنية البلورية	Fcc
المسافة الذرية الوسطية (مع عدد التنظيم 12)	2.68 kX
حرارة الاحتراق	200 kcal/ g-atom
حرارة الانصهار الكامنة	94.6 cal/g
نقطة الانصهار	660.2°C
نقطة الغليان	2480°C
ضغط البخار عند 1200°C	1×10^{-2} mmHg
الحرارة النوعية الوسطية (0-100°C)	0.219 cal/g°C
الناقلية الحرارية (0-100°C)	0.57 cal/cm s°C

الجدول (2.5) /تابع/

معامل درجة الحرارة للتمدد الخطي (0-100°C)	23.5×10^{-6} per°C
المقاومية الكهربائية عند 20°C	2.69 μΩ.cm
معامل درجة الحرارة للمقاومة (0-100°C)	4.2×10^{-3} per°C
المكافئ الإلكتروكيميائي	3.348×10^{-1} g/Ah
الكثافة عند 20°C	2.6898 g/cm^3
معامل المرونة	68.3 kN/mm^2
معامل اللي	25.5 kN/mm^2
نسبة بواسون	0.34

العناصر الحرارية: تم تطوير عناصر من رقائق الألمنيوم الحرارية، ولكنها لم تستخدم بشكل واسع حتى الآن. حيث تقتصر تطبيقاتها على: رقائق ورق الجدران، الإسمنت المسقى، وتدفئة التربة أحياناً.

المبددات الحرارية: إن ناقلية الألمنيوم العالية للحرارة، بالإضافة إلى سهولة إنتاجه في أشكال مصمتة أو مفرغة، مع نهايات متكاملة، جعلت منه مادةً مثاليةً لتبديد الحرارة. إن تجهيز أنصاف النواقل وخزانات المحولات هي بعض الأمثلة عن التنوع الكبير للتطبيق في هذا المجال. حيث تجعله خفة الوزن مثالياً لخزانات المحولات ذات القطب المحمول، وكذلك تضاف لهذه المادة ميزة أخرى هي عدم التفاعل مع زيت المحولة الذي يؤدي إلى تشكيل الرواسب.

المواد العازلة

أدخلت مراجعة المواصفات القياسية البريطانية BS 2757 عام 1986 (والمراجعات اللاحقة عام 1994 لمحاولة مطابقتها مع المعيار IEC 60085)، تصورات وأفكاراً مختلفة عن المواد العازلة، مقارنة مع تلك المطروحة في ذات المواصفات والمعايير لعام 1956، حيث تم تعديل العنوان إلى "طرق تحديد التصنيف الحراري للعوازل الكهربائية" دون الإشارة إلى المعدات أو التجهيزات الكهربائية، الذي ظهر في عنوان طبعة عام 1956 ليدل على ذلك.

فيما يلي قيم الأصناف الحرارية ودرجات الحرارة المقابلة لها:

الصنف الحراري	درجة الحرارة (°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
250	250

أما بالنسبة لدرجات الحرارة التي تفوق 250°C، فإنها تتزايد بمقدار 25°C، والأصناف المقابلة لها توافقها بالصيغة. إن استخدام الأحرف غير إلزامي، ولكن يجب أن تكون العلاقة بين الأحرف ودرجات الحرارة مقيدة. فعندما يستخدم صنف حراري في توصيف منتج ذي تقنية كهربائية، فإنه يمثل عادةً درجة الحرارة العظمى المخصصة لهذا المنتج عند سوية حمل أو شروط وظروف أخرى. لذا، فإن العازل الخاضع لدرجة الحرارة العظمى تلك، يجب أن يمتاز بكفاءة حرارية تساوي كحد أدنى لدرجة الحرارة المرتبطة بذلك الصنف الحراري للمنتج. وبهذا، فإن أي منتج ذي تقنية كهربائية لا يعني ولا يجب أن يؤخذ على أنه يدل ضمنياً على أن كل مادة عازلة مستخدمة في تركيبه هي واحدة من الصنف الحراري نفسه، ومن المهم أيضاً الملاحظة بأن درجة الحرارة في الجدول هي درجة حرارة العوازل الفعلية، وليست درجة حرارة المنتج بحد ذاته.

في عام 1956، عرضت نسخة المواصفات البريطانية BS 295 أمثلة نموذجية عن المواد العازلة وصنفتها ضمن مجموعات ... .Y, A, E لكن هذا المفهوم لم يدم لفترة طويلة.

يضم الجدول 1 من المواصفات BS 5691 الجزء 2 (IEC 2/6-2) قائمة بالمواد والاختبارات المخصصة لتحديد مواصفات الثبات الحراري، وقد وضع هذا الجدول قائمة لثلاثة أصناف رئيسية من المواد التي تفرعت فيما بعد. والأصناف الثلاثة هي:

a. العوازل الصلبة ذات الأشكال التي لا تعاني التحولات أثناء التطبيق.

b. صفائح العوازل الصلبة المستخدمة في عمليات اللف أو التكديس والمستحصل عليها من رصف الطبقات المتراكبة.

c. العوازل الصلبة في حالتها النهائية، ولكنها تطبق في الحالة السائلة أو العجينية عن طريق الملء أو الطلي أو اللصق.

من الأمثلة عن الصنف (a) نذكر الصفائح العازلة الاصطناعية (اللاعضوية) كالميكا، وهي عوازل على شكل صفائح رقيقة، والسيراميك، الزجاج، الكوارتز، البوليميرات، اللدائن، اللدائن الحرارية، وهي جميعاً عوازل على شكل قوالب.

من الأمثلة التي تندرج تحت الصنف (b)، نذكر رقائق العزل الصلبة المرتبطة مع بعضها البعض بلاصق حساس للضغط أو بالحرارة أو بعملية انصهار بسيطة أو مترافقة مع تفاعل كيميائي. من جديد، تقع منتجات الميكا ضمن هذه المجموعة كما هو الحال بالنسبة للأشرطة اللاصقة الرقيقة والأوراق والأنسجة والصفائح.

في الصنف الأخير (c)، يمكن أن تتشكل المواد العازلة عن طريق التحولات الفيزيائية للمواد كالتجمد، والتبخر، والانصهار، والتحول إلى مواد هلامية. ومن الأمثلة على هذه المواد العازلة القابلة للصهر (مع أو بدون حشوات) المعلّقات العضوية، المواد البلاستيكية القابلة للذوبان. هناك طرق أخرى لتصليب العوازل من جراء التفاعلات الكيميائية كالبلمرة، التكثيف المتعدد، والإضافات المتعددة. وتعد البوليميرات الراتنجية، وبعض المواد العجينية من الأمثلة على هذه المواد.

يعرض الجدول II من نفس المواصفات القياسية للاختبارات المتاحة، والطرق المنفذة على تلك المواد (يمكن العودة إلى جداول IEC أو ISO القياسية)، العينة ومعيار النقطة الحدية*.

* هي درجة الحرارة التي يتصاعد عندها البخار بسرعة كافية لإحداث احتراق مستمر، وتتراوح قيمتها بين 150-430°C حيث يتم تداول المواد البترولية عند هذه النقطة بأمان.

الجدول (2.6) الأسلاك الناقله من الصف (2) للكابلات وحيدة أو متعددة القلب

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
مساحة المقطع العرضي الأسمية	عدد الأسلاك الأدنى في الناقل						المقاومة العظمى للناقل عند درجة الحرارة 20°C		
	ناقل دائري		ناقل دائري مضغوط		ناقل مشكل		ناقل نحاسي معالج حرارياً		ناقل ألمنيوم صرف أو مطلي بالمعدن
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	أسلاك صرفة	أسلاك مطلية	
mm²							Ω/km	Ω/km	Ω/km
0.5	7	-	-	-	-	-	36.0	36.7	-
0.75	7	-	-	-	-	-	24.5	24.8	-
1	7	-	-	-	-	-	18.1	18.2	-
1.5	7	-	6	-	-	-	12.1	12.2	-
2.5	7	-	6	-	-	-	7.41	7.56	-
4	7	7	6	-	-	-	4.61	4.70	7.41
6	7	7	6	-	-	-	3.08	3.11	4.61
10	7	7	6	6	-	-	1.15	1.16	1.91
16	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.20
25	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.20
35	7	7	6	6	6	6	0.524	0.529	0.868
50	19	19	6	6	6	6	0.387	0.391	0.641
70	19	19	12	12	12	12	0.268	0.270	0.443
95	19	19	15	15	15	15	0.193	0.195	0.320

الجدول (2.6) /تابع/

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
مساحة المقطع العرضي الأسمية	عدد الأسلاك الأدنى في الناقل						المقاومة العظمى للناقل عند درجة الحرارة 20°C		
	ناقل دائري		ناقل دائري مضغوط		ناقل مشكل		ناقل نحاسي معالج حرارياً		ناقل المنيوم صرف أو مطلي بالمعدن
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	أسلاك صرفة	أسلاك مطلية	
120	37	37	18	15	18	15	0.153	0.154	0.253
150	37	37	18	15	18	15	0.124	0.126	0.206
185	37	37	30	30	30	30	0.0991	0.100	0.164
240	61	61	34	30	34	30	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	34	30	34	30	0.0601	0.0607	0.100
400	61	61	53	53	53	53	0.0470	0.0475	0.0778
500	61	61	53	53	53	53	0.0366	0.0369	0.0605
630	91	91	53	53	53	53	0.0283	0.0286	0.0469
800	91	91	53	53	-	-	0.0221	0.0224	0.0367
960(4×240)	عدد الأسلاك غير محدد						0.0189	0.0189	0.0313
1000	91	91	53	53	-	-	0.0176	0.0177	0.0291
1200	عدد الأسلاك غير محدد				-	-	0.0151	0.0151	0.0247
1600	عدد الأسلاك غير محدد				-	-	0.0113	0.0113	0.0186
2000	عدد الأسلاك غير محدد				-	-	0.0090	0.0090	0.0149

الجدول (2.7) نواقل الألمنيوم القاسية المدعمة بالفولاذ

مساحة الألمنيوم الأسمية (mm^2)	قطر السلك والجديلة: المنيوم (mm)	قطر السلك والجديلة: فولاذ (mm)	مساحة مقطع الألمنيوم (mm^2)	مساحة المقطع العرضي الكلية (mm^2)	القطر الكلي التقريبي (mm)	الكتلة التقريبية لكل km (kg)	مقاومة التيار المستمر المحسوبة عند 20°C في كل km (Ω)	الحمل المعاوم المحسوب (kN)
25	6/2.36	1/2.36	26.24	30.62	7.08	106	1.093	9.61
30	6/2.59	1/2.59	31.61	36.88	7.77	128	0.9077	11.45
40	6/3.00	1/3.00	42.41	49.48	9.00	172	0.6766	15.20
50	6/3.35	1/3.35	52.88	61.70	10.05	214	0.5426	18.35
70	12/2.79	7/2.79	73.37	116.2	13.95	538	0.3936	61.20
100	6/4.72	7/1.57	105.0	118.5	14.15	394	0.2733	32.70
150	30/2.59	7/2.59	158.1	194.9	18.13	726	0.1828	69.20
150	18/3.35	1/3.35	158.7	167.5	16.75	506	0.1815	35.70
175	30/2.79	7/2.79	183.4	226.2	19.53	842	0.1576	79.80
175	18/3.61	1/3.61	184.3	194.5	18.05	587	0.1563	41.10
200	30/3.00	7/3.00	212.1	261.5	21.00	974	0.1363	92.25
200	18/3.86	1/3.86	210.6	222.3	19.30	671	0.1367	46.55
400	54/3.18	7/3.18	428.9	484.5	28.62	1621	0.06740	131.9

تعاريف جديدة: تم تضمين المواصفة BS2757 عدداً من التعاريف الجديدة، للاطلاع عليها يمكن للقارئ العودة إلى المواصفة BS 5691 بأجزائها، 2، 3، 4 (المواصفة IEC 216 بأجزائها 1، 2، 3، 4) أيضاً.

الجدول (2.8) النواقل الصلبة من الصنف (1) للكابلات وحيدة أو متعددة القلب

1	2	3	4
مساحة المقطع العرضي الأسمية	مقاومة الناقل الأعظمية عند 20°C		
	النواقل النحاسية المحماة الدائرية		نواقل الألمنيوم الدائرية أو المشكلة الصرفة أو المطلية بالمعدن
	الصرفة	المطلية بالمعدن	
mm^2	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0.5	36.0	36.7	-
0.75	24.5	24.8	-
1	18.1	18.2	-
1.5	12.1	12.2	18.1
2.5	7.41	7.56	12.1
4	4.61	4.70	7.41
6	3.08	3.11	4.61
10	1.83	1.84	3.08
16	1.15	1.16	1.91
25	0.727	-	1.20
35	0.524	-	0.868
50	0.387	-	0.641
70	0.268	-	0.443
95	0.193	-	0.320
120	0.153	-	0.253
150	0.124	-	0.206
185	-	-	0.164
240	-	-	0.125
300	-	-	0.100
380 (4×95)	-	-	0.0800
480 (4×120)	-	-	0.0633
600 (4×150)	-	-	0.0515
740 (4×185)	-	-	0.0410
960 (4×240)	-	-	0.0313
1200 (4×300)	-	-	0.0250

دليل درجة الحرارة (TI): وهو العدد المطابق لدرجة الحرارة بالدرجات المئوية، والمشتق من علاقة الثباتية الحرارية عند زمن معطى وعادة 20000h.

دليل درجة الحرارة النسبي (RTI): وهو دليل درجة الحرارة للمادة المختبرة، ويتم الحصول عليه من الزمن المطابق لدليل درجة حرارة معروف لمادة مرجعية، وذلك عند تعرض كلتا المادتين لنفس شروط التقادم، وإجراءات التشخيص في اختبارات المقارنة.

المجال التصنيفي (HIC): وهو العدد المطابق لمجال الحرارة بالدرجة المئوية، والذي يعبر عن نصف الزمن اللازم للوصول إلى النقطة الحدية وذلك عند درجة الحرارة لدليل درجة الحرارة (TI)، أو دليل درجة الحرارة النسبي (RTI).

الجدول (2.9) النواقل النحاسية المرنة من الصنف 5 من أجل الكبلات وحيدة ومتعددة القلب

1	2	3	4
مساحة المقطع العرضي الأسمية	القطر الأعظمي للسلك في الناقل	المقاومة الأعظمية للناقل عند 20°C	
		الأسلاك الصرفة	الأسلاك المطلية بالمعدن
mm^2	mm	Ω/km	Ω/km
0.22	0.21	92.0	92.4
0.5	0.21	39.0	40.1
0.75	0.21	26.0	26.7
1	0.21	19.5	20.0
1.25	0.21	15.6	16.1
1.35	0.31	14.6	15.0
1.5	0.26	13.3	13.7
2.5	0.26	7.98	8.21
4	0.31	4.95	5.09
6	0.31	3.30	3.39
10	0.41	1.91	1.95
16	0.41	1.21	1.24
25	0.41	0.780	0.795
35	0.41	0.554	0.565
50	0.41	0.386	0.393
70	0.51	0.272	0.277

الجدول (2.9) /تابع/

1	2	3	4
مساحة المقطع العرضي الأسمية	القطر الأعظمي للسلك في الناقل	المقاومة الأعظمية للناقل عند 20°C	
		الأسلاك الصرفة	الأسلاك المطلية بالمعدن
95	0.51	0.206	0.210
120	0.51	0161	0.164
150	0.51	0.129	0.132
185	0.51	0.106	0.108
240	0.51	0.0801	0.0817
300	0.51	0.0641	0.0654
400	0.51	0.0486	0.0495
500	0.61	0.0384	0.0391
630	0.61	0.0287	0.0292

الخصائص: تقدم الملاحظات القادمة موجزاً لبعض النقاط الرئيسية الواجب التفكير فيها عند الرغبة في اختيار المادة الملائمة لمهمة أو وظيفة ما.

الكثافة النسبية: وهي خاصة مهمة من أجل عملية الطلاء بالورنيش، الزيوت، والسوائل الأخرى. تختلف الكثافة النسبية للمواد العازلة الصلبة بشكل واسع فهي تنطلق من 0.6 لبعض الأوراق إلى 0.3 للميكا. وفي بعض الأحيان، تشير إلى الجودة النسبية للمادة، كالألياف المقساة، وألواح الورق المضغوط.

امتصاص الرطوبة: عادةً تسبب هبوطاً خطراً في فعالية الخواص الكهربائية، وبشكل خاص للمواد الزيتية والليفية، حيث غالباً ما ينتج عنها الانتفاخ أو الترسيب أو التآكل أو بعض الآثار الأخرى. أحياناً، قد تتسبب شروط الرطوبة القاسية كتلك المصادفة في المناجم أو في المناخات الاستوائية في إحداث بعض المخاطر المدمرة.

الجدول (2.10) النواقل النحاسية المرنة من الصنف 6 من أجل الكبلات وحيدة ومتعددة القلب

1	2	3	4
مساحة المقطع العرضي الأسمية	القطر الأعظمي للسلك في الناقل	المقاومة الأعظمية عند 20°C	
		الأسلاك الصرفة	الأسلاك المطلية بالمعدن
mm^2	mm	Ω/km	Ω/km
0.5	0.16	39.0	40.1
0.75	0.16	26.0	26.7
1	0.16	19.5	20.0
1.5	0.16	13.3	13.7
2.5	0.16	7.98	8.21
4	0.16	4.95	5.09
6	0.21	3.30	3.39
10	0.21	1.91	1.95
16	0.21	1.21	1.24
25	0.21	0.780	0.795
35	0.21	0.554	0.565
50	0.31	0.386	0.393
70	0.31	0.272	0.277
95	0.31	0.206	0.210
120	0.31	0.161	0.164
150	0.31	0.129	0.132
185	0.41	0.106	0.108
240	0.41	0.0801	0.0817
300	0.41	0.0641	0.0654

الآثار الحرارية: غالباً ما تؤثر بشكل جدي على اختيار واستخدام المواد العازلة. والميزات الأساسية هي درجة: حرارة الانصهار للمواد الشمعية، درجة حرارة الخضوع للمواد البلاستيكية، ودرجة حرارة التقادم بسبب الحرارة. بالإضافة إلى درجة الحرارة العظمى التي تتحملها المادة دون خطر إتلاف أو إفساد الخواص الأساسية. درجة حرارة الاشتعال أو قابلية الاشتعال، مقاومة الأقواس الكهربائية، إعاقة الكربنة، قابلية الإخماد الذاتية إذا ما اشتعلت، الحرارة النوعية، المقاومة الحرارية، وبعض الخواص الحرارية الأخرى كمعامل التمدد ودرجة التجمد.

الخواص الميكانيكية: تتغير عادةً الخواص الميكانيكية للمواد الصلبة بشكل هام عند توظيف تلك المواد لأغراض العزل، من بين هذه الخواص إجهاد الشد، اللي، القص، الضغط، وهي خواص يتم تحديدها غالباً.

إذاً وبسبب الدرجة النسبية لعدم مرونة معظم المواد العازلة الصلبة، وحقيقة النظر الى العديد منها على أنها مواد هشة كفاية، فإنه وبشكل دوري، يجب مراقبة بعض الخصائص، مثل قابلية الانضغاط والتشوه تحت تأثير إجهادات الثني، ومقاومة الصدم، وقابلية التمدد، ومقاومة التمزق، وقابلية التشغيل، وقابلية الطي دون أن تتضرر.

المقاومية ومقاومة العزل: في حالة المواد العازلة، عادةً يظهر ذلك بشكل واضح من خلال (a) المقاومية الحجمية (أو المقاومة النوعية)، (b) المقاومة السطحية.

المقاومة الكهربائية: (مقاومة العازل الكهربائية): وهي خاصة للمادة العازلة التي تمتلك المقدرة على مقاومة الإجهادات الكهربائية دون أن تتضرر. ويعبر عنها عادة بدلالة الإجهادات الكهربائية الصغرى (تغير الكمون في واحدة المسافة) التي تسبب انهيار المادة العازلة عند شروط محددة.

انهيار السطح والشرارة العرضية: لدى تطبيق جهود كهربائية عالية على النواقل المفصولة عن بعضها البعض بواسطة الهواء، وزيادة الإجهادات، يقع انهياراً في الوسط الهوائي عند الوصول لجهد محدد يرافقه مرور شرارة من أحد النواقل للآخر.

السماحية (السعة التحريضية النوعية): تعرف السماحية بأنها نسبة كثافة الفيض الكهربائي المتولد في المادة إلى تلك في الفراغ عند تطبيق نفس القوة الكهربائية. ويمكن التعبير عن ذلك كنسبة سعة المكثفة الحاوية على المادة العازلة إلى سعة نفس المكثفة عندما يكون الهواء هو العازل.

الورق المضغوط المقوى والخشب: قبل الانتهاء من العوازل الصلبة، لا بد من إيراد بعض التفاصيل عن كيفية إعداد المواد العازلة الطبيعية كالورق، ألواح الورق المضغوط، والخشب، فهي تعتبر مواد العزل الرئيسية المستخدمة في أجهزة الملء بالزيت للمحولات الابتدائية. حيث استخدم الأسبستوس، القطن، ألواح الورق المضغوط، الأوراق المخصبة بمادة اللك في محولات الطاقة البدائية العاملة في الهواء.

تبين بعد مرور فترة زمنية وجيزة، عدم قدرة المحولات المعزولة هوائياً على منافسة محولات الملء بالزيت، حيث منظومات الورق المصنع من ورق كرافت، وألواح الورق المضغوط المتممة في عزل الأسطوانات منذ حوالي عام 1915، المشكلة من ورق كرافت المشبع بمادة الفينول وغاز ألديهيد* أو ورق Baklelized الذي أعطاها اسمها التجاري.

يمكن نسبة هذه المادة عادةً إلى مواد s.r.b.p (ورق الراتنج الصنعي synthetic resin-bonded paper). حيث استمر استخدامها في المحولات بشكل واسع حتى عام 1960. ولا تزال مستخدمة في عدد من التطبيقات ذات الجهود الكهربائية المنخفضة والتي تتطلب مقاومة ميكانيكية عالية.

يعتبر الورق أحد أرخص وأفضل مواد العزل الكهربائي المعروفة، ومن أجل المتطلبات الكهربائية، يجب أن تجتمع في هذه المادة بعض المعايير الكيميائية والفيزيائية المحددة، والتي أصبحت نافذة تباعاً بنتيجة المتطلبات الكهربائية. والخواص الكهربائية الهامة هي:

a. مقاومة العازلية العالية.

b. من أجل محولات الملء بالزيت، ثابت العازلية الذي يضاهي قدر الإمكان ثابت العازلية للزيت.

c. عامل استطاعة منخفض (ضياعات العازلية).

d. التحرر من نقل الجزيئات.

تقترب قيمة ثابت العازلية لورق كرافت من 4.4 أما للزيت المعدني فهي 2.2 تقريباً. يصنع ورق كرافت بالكامل من عجينة الخشب اللين غير المبيض وبعمليات الكبريت. حيث يمكن أن تؤثر عوامل التبييض المتبقية بشكل سلبي على الخصائص الكهربائية. وهذه العملية، يمكن أن ينتج عنها كميات قليلة ومنفصلة من المخلفات القلوية PH7-9 مما يميزها عن عملية الكبريت الأقل كلفة، وشائعة الاستخدام في إنتاج ورق الجرائد على سبيل المثال، حيث ينتج عنها حمض عجيني. يقود المحتوى

* غاز الديهيد هو غاز عديم اللون

الحامضي إلى اختزال سريع للسلسلة الطويلة لجزيئات السيليلوز مما يؤدي إلى إضعاف المقاومة الميكانيكية إلى حدود غير مقبولة بالنسبة للتطبيقات الكهربائية.

يعتبر الخشب المادة الخام لصناعة قطع من الأنسجة الناعمة في مواقع إنتاجه في الدول الاسكندنافية وكندا وروسيا، باستخدام دواليب طحن مع مواد حك أو الكاربورندم*، ومن ثم بواسطة العمليات الكيميائية وبالكبريت تستأصل معظم المكونات الخشبية، أي الكربوهيدرات والشموع...الخ. وذلك للإبقاء على ألياف السيليلوز فقط. يتم نشر هذه الألياف في الماء الذي يتم ارتشافه للإبقاء على حصيرة من عجينة الخشب، ومن ثم يمكن نقل الحصيرة الجافة إلى مطاحن مصانع الورق المتخصصة.

تختلف العمليات التصنيعية المطبقة لإنتاج المواد العازلة من منتج لآخر، وحتى عمليات الطحن، فهي تختلف بطرق المعالجة من منتج لآخر، ويرتبط هذا الاختلاف بالخصائص المطلوبة من المنتج النهائي. سنعرض فيما يلي لأنواع العمليات التصنيعية التي يستخدمها أحد المنتجين البريطانيين لنوع خاص من ورق الطباعة عالي الجودة حيث تقدم بعض المؤشرات الواردة أعلاه.

ورق الطباعة (press paper): يتعرض لبعض الضغوط خلال عملية التصنيع مما يزيد من كثافته ويحسن سطحه النهائي، ويزيد من مقاومته الميكانيكية. إن إنتاج ورق الطباعة هي عملية مستمرة، يتم فيها تشكيل الورق على أسطوانة دوارة ذات شبكة ناعمة، وتتضمن بناء ألواح الورق من عدة طبقات مستقلة. يمكن بعمليات بسيطة أخرى إنتاج صفائح ورقية متقطعة على أسرة حواجز أفقية دون تشكيلات تفرعية أو معالجة (عمليات سحب)، ولكن كما هو متوقع، كلما كانت العمليات التصنيعية معقدة ومكلفة أكثر، كلما كان للمنتج خصائص منتظمة وموثوقة أكثر.

تبدأ العملية بإعادة طحن حصائر البالات باستخدام كميات غزيرة من المياه بهدف التخلص من كافة الآثار الكيميائية المتبقية للمواد المستخدمة في مرحلة استخلاص الحصيرة. الألياف المستقلة سيتم سحقها وتنقيتها في الحالة الرطبة بغية كشف أكبر مساحة ممكنة.

---

* Carborundum بللورات كربيد السيليكون، تنتج من تفاعل السيليكون والكربون عند درجة حرارة 2000-2200°C، وتمتاز بقساوتها العالية. وتستخدم في أدوات قطع الزجاج.

تحدد قوى الارتباط بين الألياف، بشكل أولي، مقاومة الورق وألواح الورق المقوى، حيث تكون هذه الألياف مجهدة بحد ذاتها تحت حد الانهيار. تحصل قوى الارتباط الفيزياكيميائية هذه والتي تعرف بالقوى الهيدروجينية بين جزيئات السيليلوز نفسها، وتتأثر بشكل مبدئي بنوع عملية التكرير إلى حد ما. بعد ذلك، يتم مزج الألياف المشذبة بكمية أكبر من الماء بهدف تنفيذ غسيل مركز متعدد المراحل بالقوى الطاردة المركزية، وبذلك يتم التخلص من كل البقايا أو الشوائب بشكل نهائي والتي يمكن أن تكون متواجدة في العقد الصغيرة. بعد ذلك يمكن إعادة دورة التشذيب هذه مرة أخرى. تقوم أجهزة الطرد المركزي بإزالة الأجسام الغريبة كالجزيئات المعدنية الناتجة عن عمليات التكرير والتشذيب، يقاد بعد ذلك، مزيج الماء/السيليلوز إلى غربال أسطواني دوار عريض، حيث تتدفق المياه من خلال الغربال، وتصفى ألياف السيليلوز خارجاً لتشكل طبقات الورق. يقوم خط سير من اللباد باستخراج نسيج الورق من الغربال وحمله إلى مدحرجات التشكيل، حيث تسمح طبقة اللباد بالتخلص من الماء الإضافي المتبقي، وتسمح بدمج من خمسة إلى ستة أثواب ورق أخرى، قبل أن تمر من خلال أسطوانات التشكيل. ومن ثم يستمر استخلاص الماء وتشكيل الورق إلى السماكة والكثافة ومحتوى الرطوبة المطلوبة بواسطة الحرارة والضغط أثناء تقدمها في الأسطوانات.

بغية الوصول إلى الخصائص المختلفة، هناك عدد من الخيارات المتاحة لهذه العملية. على سبيل المثال، عملية CLUPAK* التي تؤدي إلى تحسين قابلية تمدد الورق، أو التخصيب مع مواد مثل النتروجين الحاوي على بعض العناصر الكيميائية مثل ثنائي سيانيد أميد الذي يقدم تحسينات على الأداء الحراري، وعن طريق عمليات الصقل، يمكن الوصول إلى الشكل والكثافة النهائيين. هنا وعند محتوى رطوبة محدد، يتم تمرير الورق إلى أسطوانات فولاذية ثقيلة، يليها مجففات حرارية دون ضغط. غالباً ما تنحصر خاصة تماسك الألياف مع بعضها البعض بألياف السيليلوز، وهي مهمة أثناء تجفيف الحصيرة. السيليلوز هو سلسلة من البوليميرات عالية الكربوهيدرات وتتكون من وحدات السكر ذات مستوى بلمرة قريب من 2000. يبين الشكل

* Clupak Inc. علامة تجارية لعملية تصنيع الورق الأملس.

(2.4) بنيته الكيميائية. تعد جزيئات نصف-السيليلوز المكون الرئيسي الثاني لعجين الخشب المصفى، وهو عبارة عن كربوهيدرات بمستوى بلمرة أقل من 200، حيث تقوم بتسهيل عملية الارتباط مع الهيدروجين في الكميات المرققة الطبقية، ولكن المقاومة الميكانيكية تنخفض إذا زادت كميتها عن 10% تقريباً. لجزيئات نصف السيليلوز سيئة احتجاز الماء الأمر الذي يزيد من صعوبة تجفيف الورق.

الشكل (2.4) الصيغة الكيميائية للسيليلوز

يعد السيليلوز الخشبي اللين الأكثر ملاءمة للعوازل الكهربائية بسبب أطوال أليافه التي تصل إلى 1~4mm والتي تكسبه مقاومة ميكانيكية عالية. ومع ذلك، يمكن إضافة كميات قليلة من عجينة الخشب القاسي، وكما هو الحال في الخلائط المعدنية، فإن خصائص المزيج تكون عادة أفضل من تلك التابعة لكل مكون على حدة.

السيليلوز القطني: تعتبر ألياف القطن مصدراً آخراً للسيليلوز النقي جداً، والذي تم استخدامه في المملكة المتحدة لعدة سنوات في إنتاج نوع الورق المسمى "rag" بقصد الجمع بين المقاومة الكهربائية العالية، والخواص الميكانيكية لورق كرافت النقي. والألياف القطنية أطول من ألياف عجينة الخشب، غير أن شدة الترابط الداخلي غير جيدة بما فيه الكفاية، وألياف القطن أنعم من الألياف الخشبية، لذلك من الضروري بذل المزيد من العمل في مرحلة السحق والتكرير لإنتاج الفروع الجانبية التي ستؤمن أماكن الربط اللازمة لتأمين المقاومة الميكانيكية المطلوبة. وهذا لوحده كفيل بجعل هذه المادة أغلى ثمناً، حتى بدون الكلفة الإضافية للمادة الخام بحد ذاتها.

عند استخدامها للمرة الأولى في صناعة الورق الكهربائي في عام 1930، كنا نحصل على ألياف القطن هذه من خلال مزق الأنسجة والملابس القطنية البالية الداخلة في صناعة الملابس القطنية، وقد أدى هذا المصدر إلى حد ما بالاحتفاظ بالكلفة بحيث تنافس كلفة ورق كرافت النقي، لكن وبعد توقف هذا المصدر في السنوات الأخيرة عن كونه مصدراً مقبولاً للألياف القطنية، بسبب احتواء بعض الملابس في الغالب على نسبة من الألياف الصنعية، وبعض المواد الأخرى، وبالتالي لم تعد هناك إمكانية للثقة بأن هذه الأنسجة نقية أو خالية تماماً من الشوائب، ولذلك كان من الضروري البحث عن مصادر أخرى.

تؤخذ النسالات القطنية، وهي القطع المأخوذة من نبتة القطن بعد قطع ألياف تيلة القطن الطويلة، ليتم غزلها على شكل خيوط مفتولة، لاستخدامها لاحقاً في صناعة الملابس. النخب الأول من تلك النسالات وهي المأخوذة مباشرة بعد قص التيلة، تكون ذات طول وجودة كافيين لجعلها ملائمة لأن تكون مادة عزل عالية الجودة. حيث يمكن أن تؤمن المدد أو المخزون الاحتياطي لعمليات تصنيع الورق الموصوف بشكليه المستقل أو المرتبط مع الخيوط الجديدة من القطن البالي على حد سواء.

يمكن باتحاد الألياف القطنية مع عجينة ورق كرافت، الحصول على مادة ذات ميزات مثالية لكل مكون من مكونات الورق بحيث تمتلك خصائص كهربائية وميكانيكية جيدة، مثل قابلية امتصاص الزيوت. يمكن للميزة الأخيرة تلك أن تكون بالغة الأهمية بالنسبة للورق المستخدم من أجل اللف من الأعلى إلى الأسفل، أو فيما بين طبقات الأسلاك الدائرية لملفات محولات الجهد العالي، حيث يصعب التغلغل الكلي للزيت المتشرب حتى في ظل وجود تخلخل كبير.

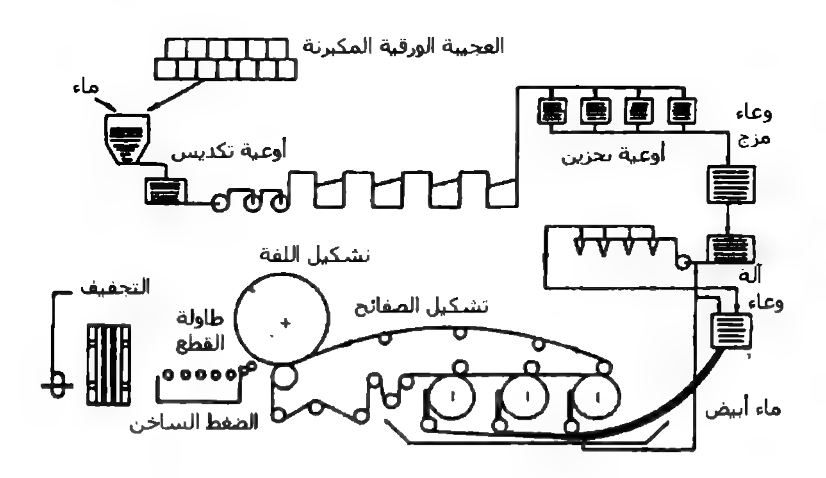
يمكن استخدام أنواع أخرى من الألياف مثل manila, hemp, jute في صناعة أوراق بمواصفات وخصائص محددة، وقد طورت لتحقيق أغراض كهربائية خاصة على سبيل المثال في المكثفات وفي الكابلات المعزولة.

تقدم المواصفات القياسية البريطانية 5626:1979 ذات العنوان "أوراق السيليلوز للصناعات الكهربائية" والمماثلة للمواصفات IEC 60554، سرداً لأنواع الورق

الأساسية وخصائصها. ورق الطباعة مغطى في المواصفة البريطانية القياسية EN 60641 "ألواح الورق المضغوط و ورق الطباعة للأغراض الكهربائية".

ألواح الورق المضغوط: ببساطة شديدة جداً، لا تمثل ألواح الورق المضغوط أكثر من كونها ورق عازل ثخين، مصنع من تكديس عدة طبقات من الورق فوق بعضها البعض، في المرحلة الرطبة من صناعتها، والشكل (2.5) يوضح المخطط التنظيمي للعمليات التصنيعية. عند الضرورة، تصبح تلك العمليات تسلسلية بدلاً من كونها مستمرة، عند استخدامها من أجل الورق، فيما عدا ذلك، تشابه العمليات التصنيعية لتلك المستخدمة في صناعة الورق إلى حد ما كبير.

لإنتاج السماكة المطلوبة، فإنه يلزم العديد من الطبقات الرقيقة قدر المستطاع، وهي بدون أي معامل ارتباط في الحالة الرطبة. إذاً يمكن تقسيم ألواح الورق المضغوط إلى مجموعتين أساسيتين:



الشكل (2.5) العملية التصنيعية للألواح مسبقة الضغط

a. تلك المبنية بشكل كامل من طبقات الورق الصرف، بالحالة الرطبة بدون أي معامل ارتباط كما ورد أعلاه.

b. تلك المبنية عادةً وفق سماكات كبيرة، عن طريق ربط الألواح المستقلة باستخدام مواد لاصقة مناسبة.

تغطي المواصفات القياسية البريطانية BS EN 60641 "ألواح الورق المضغوط وورق الطباعة للأغراض الكهربائية" ألواح الورق المضغوط، وورق الطباعة المشكل ضمن مجموعات. وهي عبارة عن وثيقة متعددة الأقسام، يضيف القسم الأول منها المتطلبات العامة، وتعاريف للأصناف المختلفة، تعالج وثيقة أخرى مشابهة متعددة الأقسام هي BS EN 60763 "ألواح الورق المضغوط المشكلة على شكل صفائح" تعالج المتطلبات التقنية للألواح المضغوطة المشكلة من صفائح رقيقة. كما هو الحال بالنسبة للورق العازل، هناك أشكال مختلفة تتبع هذا النوع الرئيسي. وجميع الأصناف الرئيسية لتلك المواد موجودة ضمن الوثائق أعلاه. يمكن استخدام نفس المواد الخام المستخدمة من أجل ورق الطباعة، وهي المعاجين الخشبية بأنواعها، القطن بأنواعه، أو مزيج من ألياف القطن والخشب.

تتوفر ألواح الورق المضغوط التي تنتسب للمجموعة الأولى بسماكات قد تصل حتى 8mm، وهي تستخدم بشكل عام بسماكات تقارب 2~3mm من أجل اللفات التبادلية وعوازل نهائية لمحولات الملء بالزيت، وبسماكات تتراوح بين 4.5~6mm من أجل الأشرطة المستخدمة في تشكيل أقنية التبريد بالزيت، وتنتج هذه المادة في ثلاث مجموعات جزئية.

تدعى الأولى باللوح المضغوط المبرمج زمنياً، والذي يعاني من عملية ضغط أولية، ومحتوى ماء يصل إلى 55% تقريباً، ويجفف بواسطة الحرارة دون ضغط، يتبع ذلك عملية سحب الرطوبة لتصل إلى مستوى 5% تقريباً. ولذلك تكون كثافة اللوح المضغوط الناتج بحدود 0.9 إلى 1.0. يطبق فيما بعد ضغط إضافي وفق برنامج زمني شديد لجعل الكثافة بين 1.15 و 1.30.

المجموعة الثانية، هي ألواح مضغوطة قابلة للقولبة، تخضع لضغوط معتدلة أو بدون ضغوط بعد عملية التشكيل. وتجفف باستخدام الحرارة فقط للوصل بمحتوى الرطوبة إلى 5% وهي ذات كثافة تقارب 0.9. والناتج عبارة عن ألواح ناعمة ذات

قابلية جيدة لامتصاص الزيت، وقادرة على اتخاذ شكل يحقق المتطلبات الفيزيائية للتطبيقات العملية إلى حد بعيد.

المادة الثالثة، هي ألواح مضغوطة مسبقة الضغط، حيث تتم عمليات إزالة الماء، والضغط، والتجفيف، تحت الحرارة بعد المرحلة الرطبة مباشرة. وهذا يؤدي إلى ربط الألياف مع بعضها البعض الأمر الذي يؤدي لإنتاج مادة قوية، مستقرة، وغير مجهدة، ذات كثافة تقارب 1.25، تحتفظ بشكلها وأبعادها خلال مراحل تصنيع المحول، والدورة الحرارية للزيت تحت شروط الخدمة، وهي بذلك أفضل إلى درجة بعيدة من اللوحين السابقين.

لهذا السبب، فإن ينظر للمواد مسبقة الضغط، عالية الاستقرار، على أنها تشكل اللوح المفضل لمعظم المحولات المصنعة لأغلب التطبيقات.

يبدأ اللوح الصفيحي المضغوط بسماكة 10mm تقريباً، وتزداد لتصل حتى 50mm أو أكثر. يمكن أن تكون المادة المستخدمة قبل التحول الصفيحي، أي من مواد المجموعات الثلاث غير الصفيحية الواردة أعلاه، ولكن يفضل عادةً اللوح مسبق الضغط. يستخدم هذا اللوح في محولات الطاقة الضخمة، لمنصات دعم الملفات، هياكل دعم نهاية اللف، وقطع المسافة، كما يستخدم كمرابط (Cleats) لتدعم الأسلاك وحمايتها.

العوازل الكهربائية السائلة: تستخدم العوازل الكهربائية السائلة:

a. كوسط ملء وتبريد للمحولات، والمكثفات، والمقاومات المتغيرة.

b. كأوساط عازلة، ومخمدة للقوس في مفاتيح القيادة الكهربائية، مثل قواطع الدارة.

c. كمخصبات للعوازل الماصة أي الورق والألواح المضغوطة، والخشب والمستخدمة في المحولات ومفاتيح القيادة الكهربائية والمكثفات، والكابلات.

لذلك، فإن الخصائص المرغوبة لهذه السوائل هي: (i) المقاومة الكهربائية العالية، (ii) اللزوجة المنخفضة، (iii) الاستقرار الكيميائي العالي والمقاومة للتأكسد، (iv) درجة حرارة وميض عالية، (v) قابلية تطاير منخفضة.

أما العازل الكهربائي السائل الأكثر استخداماً بشكل عام فهو الزيت المعدني. وهو موصف في المواصفات القياسية البريطانية BS 148:1984 "مواصفات الزيوت المعدنية العازلة الجديدة المستخدمة في المحولات والمفاتيح الكهربائية".

الجدول (2.11) مواصفات المواد العازلة النموذجية

العازل	n	ε_r	tanδ 50 Hz	tanδ 1 MHz
الفراغ	∞	1.0	0	0
الهواء	∞	1.0006	0	0
زيت معدني معزول	11-13	2.2.5	0.0002	-
Chlorinated polyphenols	10-12	4.5-5	0.003	-
شمع البارافين	14	2.2	-	0.0001
اللك المصفى	13	2.3-3.5	0.008	-
الزفت	12	2.6	0.008	-
ألواح مضغوطة	8	3.1	0.013	-
ايبونيت	14	2.8	0.01	0.009
مطاط قاسي	12-16	4	0.016	0.01
ورق جاف	10	1.9-2.9	0.005	-
ورق مشرب	-	2.8-4	0.005	-
قماش، قطن مطلي بالورنيش	13	5	0.2	-
قماش - حرير	13	3.2-4.5	-	-
سيليلوز انيلي	11	2.5-3.7	0.02	0.02
Cellulose acetate film	13	4-5.5	0.023	-
S.R.B.P.	11-12	4-6	0.02	0.04
S.R.B. cotton	7-10	5-11	0.03	0.06
S.R.B. wood	10	4.5-5.4	-	0.05
Polystyrene	15	2.6	0.0002	0.0002
Polyethylene	15	2.3	0.0001	0.0001
Methyl methacrylate	13	2.8	0.06	0.02
Phenol formaldehyde wood-filled	9-10	4-9	0.1	0.09
Phenol formaldehyde mineral-filled	10-12	5	0.015	0.01
Polystyrene mineral-filled	-	3.2	-	0.0015
Polyvinyl chloride	11	5-7	0.1	-
بورسلان	10-12	5-7	-	0.008
Steatite	12-13	4-6.6	0.0012	0.001

الجدول (2.11) /تابع/

العازل	n	ε_r	tanδ 50 Hz	tanδ 1 MHz
Mycalex, sheet, rod	12	7	-	0.002
ميكا	11-15	4.5-7	0.0003	0.0002
زجاج	11	6-7	-	0.004
كوارتز	16	3.9	-	0.0002

هذه الوثيقة تشابه ولا تطابق الوثيقة IEC 296. يستخدم الزيت المعدني كعازل ومبرد بالفعل في جميع المحولات الخارجية، وفي معظم الكابلات الأرضية لـ 132kV وما فوق. كذلك يستخدم الزيت كوسط مخمد للقوس، وعازل لمعظم المفاتيح الكهربائية الموجودة في الخدمة في الوقت الراهن عند جهود 33kV وما دون. من أجل المفاتيح الكهربائية، أدت متطلبات الصيانة العالية التي يحتاجها الزيت إلى التخلي عنه أمام معدات الكبح الهوائية في البداية، ولاحقاً عن طريق الاستخدام واسع الانتشار للفراغ وكبريتات سداسي الفلور (SF6).

الزيوت المعدنية العازلة هي عبارة عن زيوت هيدروكربونية مستخلصة من أنواع محددة من النفط الخام. إن عملية التصفية هذه، هي وسيلة للتخلص من الشوائب، وبشكل رئيسي المركبات الحاوية على الكبريت، النتروجين والأوكسجين، وأيضاً وسيلة لفصل الهيدروكربونات ذات اللزوجة المنخفضة اللازمة للزيوت الكهربائية عن المركبات الأثقل والمستخدمة للتشحيم والتزييت وكزيت وقود. ويتم ذلك عن طريق التقطير، الترشيح والتكسير لبعض السلاسل الجزيئية الكبيرة بالتحفيز.

تقع الهيدروكربونات المحتواة في الزيوت المعدنية في ثلاثة أصناف: النفثين (Naphthenes)، والبارافين (Paraffins)، والعطريات (Aromatics). تتكون معظم الزيوت الخام من جميع هذه الأنواع الثلاثة، ولكن للأغراض الكهربائية يفضل نوع الزيت الذي يهيمن فيه النفثين. تقوم بعض البارافينات بإنتاج شموع تعيق التدفق عند درجة الحرارة المنخفضة، أما العطريات، فهي الأقل استقراراً من الناحية الكيميائية مقارنةً بالنوعين الآخرين، وإذا ما وجدت بكميات كبيرة، فإنها لن تؤمن الاستقرار العالي المرغوب فيه للزيت. يمكن أن يتكون الزيت الكهربائي النموذجي من النسب

الآتية: 65% نفثين، 30% بارافين، 5% عطريات. تضع المواصفة BS 148 الخصائص المقبولة لأصناف الزيوت المعدنية الثلاثة وهي الصنف I و II و III.

يحدد الصنف بواسطة اللزوجة، فالصنف I وهو الصنف ذو اللزوجة الأعلى، بشكل نسبي، معد للاستخدام في المحولات. أما الزيت ذي اللزوجة الدنيا، فهو مصمم للاستخدام في قواطع الدارات الكهربائية لأن ذلك يمكّن الزيت من التدفق بسرعة أكبر فيما بين أجزاء تماسات مقاطعة التيار الأمر الذي يساهم في إخماد القوس.

هناك مطلب آخر مرتبط بمدة الاستقرار الكيميائي الطويلة، وهو مقاومة التأكسد. فالتأكسد يعتبر سيئة بالنسبة لزيت المحولات أكثر منه للمفاتيح الكهربائية، وذلك عند العمل في درجات حرارة عالية. حيث يصبح الزيت المتأكسد حامضياً، ويرسب الرواسب في ملفات المحول، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض فعالية التبريد وبالتالي يقصر عمر المحول.

يساعد الاختيار الصحيح لتركيبة الزيت، في مقاومة التأكسد، لكن يمكن من جهة أخرى، تحسين هذه المقاومة عن طريق إضافة المثبطات. ويدعى الزيت الحاوي على المثبطات بالزيت المثبط.

يفضل في المملكة المتحدة الزيت الخالي من المثبطات عندما لا تكون مدة احتفاظ المثبطات بخصائصها معروفة، يدعى الزيت الخالي من المثبطات بالزيت غير المثبط.

إن قابلية ذوبان الماء في الزيوت الكهربائية ضعيفة، لكن من المستحب من أجل الحصول على مقاومة كهربائية جيدة، أن يكون محتوى الماء في حدوده الدنيا. يقاس محتوى الماء بواحدة جزء في المليون (p.p.m)، وتختلف قابلية الذوبان تبعاً لنوع الزيت، ولكن بشكل نموذجي سينحل حتى 40 p.p.m عند الدرجة 20°C ، بينما سيرتفع هذا الرقم إلى 400 p.p.m عند الدرجة 80°C. الخطورة الكبرى لمقاومة العازل الكهربائية هي بوجود الماء الحر، كقطرات غير منحلة، بالإضافة إلى الألياف الدقيقة الملونة. عند استخدامه في المفاتيح الكهربائية، سيتلوث الزيت بجزيئات الكربون الناتجة عن انقطاع القوس، لذلك يجب إزالة هذا التلوث وبشكل دوري عن طريق الترشيح (الفلترة).

تسمح المواصفة BS 148 بتزويد الزيت عن طريق خزان كبير حيث يكون محتواه من الماء غير المنحل 30 p.p.m، وقد يصل هذا الرقم إلى 40 p.p.m عندما يتم التزود عبر البراميل.

هناك اختبارات ضرورية للوقوف على محتوى الماء بأجزاء من المليون. غير أن أسهل هذه الاختبارات وأكثرها ملاءمةً هو اختبار الطقطقة (crackle). لإجراء هذا الاختبار، تسخن عينة من الزيت بشكل سريع في أنبوب فوق لهب هادئ، ففي حال وجود الماء الحر، فإنه سيغلي ويعبر عن ذلك بحدوث طقطقة مسموعة بوضوح قبل أن يصبح قابلاً للانحلال في الزيت الساخن.

يتضح من هذا الاختبار أن الزيت الحاوي على الماء لا يجب استخدامه في التجهيزات الكهربائية دون تجفيف أو ترشيح مناسب.

الاختبار المهم الآخر لنوعية الزيت هو اختبار المقاومة، حيث يخضع الزيت فيه لجهد متناوب متزايد بشكل تدريجي فيما بين إلكترودين تفصل بينهما مسافة 2.5 mm في خلية اختبار، حتى حصول الانهيار. جهد الانهيار هو الجهد الذي تنطلق عنده شرارة عابرة أو كلية. يتم إجراء هذا الاختبار ست مرات على نفس العينة، وتؤخذ مقاومة الزيت الكهربائية على أنها متوسط قيم جهود الانهيار الست التي حصلنا عليها.

تنص المواصفة BS 148 على وجوب أن تكون مقاومة انهيار الزيت المزود 30kV على الأقل. من أجل نوعية زيت جيدة، لزيوت محولات الجهد العالي على سبيل المثال، فإن هذه القيمة يجب أن تكون محققة وبسهولة، ويجب أن نحصل على أرقام 50 أو 60kV كحد أدنى.

قبيل تطوير اختبار جهد الانهيار هذا في نسخة 1970 من BS 148 ، كان اختبار المقاومة الكهربائية هو الاختبار المعمول به، وكان يعتمد على خلية اختبار مشابهة ذات إلكترودات كروية تفصل بينها 4 mm. حيث كان على عينة الزيت مقاومة جهد الاختبار 40kV لمدة دقيقة واحدة، وكان يتم إهمال أي تفريغ عابر للشحنات لا يترافق بظهور قوس. وكان يتوجب تمرير عينتين من بين كل ثلاث عينات لتجاوز الاختبار. لم يتم التخلي تماماً عن هذا الاختبار الذي يمتاز بقلة البحث

بالنسبة لاختبار مقاومة الانهيار. فهو لم يزل مقبولاً حتى الآن كطريقة مستخدمة لاختبار الزيت. وعلى هذا الأساس فهو متضمن في المواصفة BS 5730 "نظام ممارسة صيانة زيت العازلية".

تعتبر مخاطر الحريق من الأسباب الهامة التي تتدخل في اختيار نوعية مقبولة للزيت المعدني لاستخدامه في التجهيزات الكهربائية. ففي محطات الطاقة – على سبيل المثال – حيث مصدر المياه الجاهزة متوفر، يتم، بهدف منع الحريق أو الوقاية منه، تزويد جميع المحولات الضخمة بمرشات مائية. بينما خطر الحريق، غير مأخوذ بعين الاعتبار بشكل مقبول في الأبنية على سبيل المثال، حيث يمكن أخذه بعين الاعتبار بشكل أفضل عن طريق استخدام سوائل أقل قابليةً للاشتعال عوضاً عن الزيت المعدني. فيما يلي البعض من هذه البدائل:

سوائل السيليكون: وهي عوازل سائلة ذات قابلية اشتعال متدنية، مناسبة لأغراض العزل، وبشكل عام ينحصر استخدامها من أجل الجهود من 66kV فما دون. وهي ذات استقرار حراري عال، وخمول كيميائي وذات درجة حرارة وميض عالية جداً. وهي لن تشتعل عندما تكون مخزنة لدى تعرضها لدرجات حرارة أقل من 350°C، وحتى في حال تعرضها للهب. وتستخدم في محولات الطاقة والتوزيع، في محولات الطائرات الصغيرة، وكمخصبات للمكثفات. لكن تكمن سلبية السيليكون السائل في خصائص إخماد القوس التي تجعلها غير مناسبة للاستخدام في مغيرات التفريع (tapchangers).

سائل الأستر الصنعي: الأسترات* المعقدة، أو الأسترات المعيقة، مقبولة حالياً على نطاق واسع في مجال التشحيم عالي درجات الحرارة، والهيدروليك، بشكل خاص في تطبيقات العنفات الغازية، وهي مستخدمة كمائع ناقل للحرارة بشكل عام.

يتم في هذه المجالات، استبدال بعض المشتقات النفطية أو الزيوت الصنعية التي تثبت سميتها أو عدم ملاءمتها لبعض المجالات. مؤخراً، تم تطوير أستر شبيه يحقق متطلبات التطبيقات كعازل في محولات الجهد العالي ومغيرات التفريع تحت الحمل،

* الأسترات: أملاح عضوية.

وهو ذو درجة سمية منخفضة جداً، وقابل للانحلال بالبكتريا، ويتمتع كذلك بخصائص تشحيم ممتازة، تجعله قابلاً للاستخدام للمحولات ذات التبريد القسري بجميع أنواعها.

سوائل PCBs: تعرف هذه النوعية من السوائل الصنعية باسم (askarel)، حيث تم استخدامها على نطاق واسع ومنذ إنتاجها في عام 1940 عن طريق Monsanto وحتى أواخر السبعينيات في المكثفات والمحولات. وكذلك استخدمت بشكل واسع خارج الصناعة الكهربائية كسوائل ناقلة للحرارة، ولكن بسبب عدم قابليتها للتحلل بالبكتريا، التي تتسبب في استمرار وجودها في الوسط المحيط، وبالتالي دخولها في السلاسل الغذائية، إلى جانب اتحادها المحصور بالمواد الأكثر خطورة (dioxin)*، فإن إنتاجها في معظم أنحاء العالم قد توقف حالياً، وبدأ استخدامها ينحسر.

في الثمانينيات، وضع عدد من المؤسسات المختصة بعض المهارات لاستتراف تلك المواد المعبأة في المحولات، واستبدالها بسوائل أخرى، والتخلص منها بأمان. هذا الإجراء على كل حال، عانى من بعض المصاعب في سن التشريعات الصارمة حيث تشترط معظم الدول أن تحتوي هذه السوائل على مستويات متدنية جداً من بعض المركبات لاعتبارها تنتمي إلى طائفة PCBs. وبالطبع، بسبب الصعوبة الكبيرة لهذا الإجراء. أصبح خيار إزالة آثار هذه المواد من المحولات واستبدالها بسوائل أخرى (وفق هذه الطريقة) خياراً غير مناسب إلى حد بعيد.

في التسعينيات، شجع كل اللذين نادوا بالمشكلة على تحويل جميع المحولات المليئة بتلك السوائل إلى ركام بطريقة آمنة، واستبدالها بأخرى.

المواد العازلة الغازية: كما ورد آنفاً، فإن غاز الكبريت سداسي الفلور (SF6) قد اعتمد حالياً كبديل عن الزيت المعدني على أنه العازل المستخدم على نطاق واسع، وكوسط مخمد للقوس في جميع أنواع المفاتيح الكهربائية حتى 400kV وما فوق.

والغاز SF6، هو غاز مستقر، وخامل حتى درجة الحرارة 500°C، وغير قابل للاشتعال، وغير سام وبدون رائحة أو لون. كما أنه يمتلك خصائص عزل ممتازة،

* dioxin: مواد سامه.

عندما يتم ضغطه في المجال (2-6 bar)، كما يمتلك مقاومة عازلية بحدود 2.5 إلى 3 مرات من مقاومة الهواء عند نفس الضغط. وهو أثقل من الهواء بحوالي خمس مرات، ووزنه الجزيئي 146، وكتلته النوعية 6.14 g/l.

من المستبعد سيلان هذا الغاز عند الكثافات الطبيعية، فيما عدا العمل تحت درجات الحرارة المنخفضة جداً التي قد تصل إلى ما دون (-40°C)، وفي مثل هذه الحالة يمكن تزويد التجهيزات بمسخنات.

يتم توصيف SF6 الغاز الصناعي المستخدم في القواطع الكهربائية، وأنظمة خطوط النقل على أن يكون بدرجة نقاء تصل إلى 99.9% بالوزن، ويحتوي على الشوائب SF4 بمقدار 0.05% والهواء (O2 و N2 بمقدار 0.05%)، ومحتوى رطوبة 15 p.p.m ومحتوى HF بمقدار 1 p.p.m. الرطوبة الممتصة من قبل علب المفاتيح الكهربائية والجدران العازلة تجعل محتوى الرطوبة لغاز SF6 ما بين 20 إلى 100 p.p.m وهذا المحتوى مستقر عندما يكون الغاز في الخدمة.

في درجات الحرارة الاعتيادية، يعتبر الغاز عازلاً جيداً، لكن مع ارتفاع درجة حرارة القوس (2000°K-) التي تحدث خلال إجرائية دارة الفصل، تبدأ الجزيئات بالانفصال، ويتحول عندئذ إلى ناقل جيد. كذلك ينفصل غاز SF6 خلال إجرائية القوس متحولاً إلى بلازما ناقلة كهربائياً، وتحافظ على التيار حتى التالي والتالي ولكن تيار تردد طاقة طبيعي صفري.

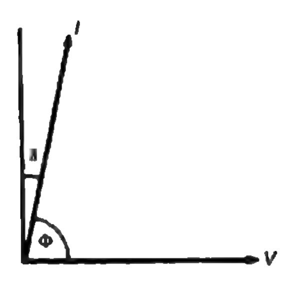
تم إثبات أن الغاز SF6 هو وسط ممتاز لإخماد القوس، لم يظهر ذلك من استقراره فقط، ومقاومة عازليته، لكن من خلال حرارته النوعية العالية أيضاً.

إنه غاز ذو ناقلية حرارية جيدة، وقدرة على التقاط الإلكترونات الحرة. ويبرد بشكل سريع جداً خلال بضع µs، تعيد أيونات الفلورين والكبريت اتحادها بسرعة لتكوين العازل المستقر SF6. مثل بقية الخواص، يساعد في نزع القدرة من القوس أثناء إجرائية فصل الدارة. سيتم تناول المزيد من التفاصيل المتعلقة بالغاز SF6 في الفصل الخامس عشر.

الخلاء العازل: يستخدم الخلاء في الوقت الراهن في تطبيقات تخميد القوس في المفاتيح الكهربائية، وللتحكم بسرعة المولدات. على الرغم من أن الخلاء ليس بمادة بالمعنى الذي يتعاطاه هذا الفصل، غير أن قواطع الخلاء تمتلك خصائص ومواصفات ترتبط بشكل محدد بالوسط القاطع للقوس. ستتم مناقشة هذا الأمر في الفصل الخامس عشر.

معامل الاستطاعة وضياعات العازلية: لدى تطبيق إجهادات متناوبة على سبيل المثال على لبوسي مكثف ذي عازل "مثالي" كالهواء الجاف أو الخلاء، فإن التيار المار سيكون تياراً سعوياً صرفاً، ويتقدم على الجهد بفرق صفحة مقداره 90°C. أما في حالة العوازل الأخرى، والتأثيرات الأخرى (كعروة العازلية*) عملياً، يتسبب ذلك بفقدان كمية معينة من القدرة في العوازل، وهذا يجعل التيار متقدماً على الجهد بفرق صفحة أقل من 90°C، وبالتالي فإن الزاوية المتممة لزاوية فرق الصفحة هذه تعتبر قياساً للضياعات الناشئة في المادة عند خضوعها لإجهادات كهربائية متناوبة.

في المخطط الطوري المبين في الشكل (2.6)، تمثل ϕ زاوية الطور و δ الزاوية المتممة وتعرف باسم زاوية الفقد أو زاوية الضياعات (loss angle). عادةً كلما كانت هذه الزاوية صغيرة، كلما أمكن اعتبار معامل الاستطاعة $\cos\phi$ مساوياً إلى $\tan\delta$ (من أجل قيم $\cos\phi$ العالية لنقل 0.1).



الشكل (2.6) **المخطط الطوري لمادة ذات ضياعات عازلية**

* عروة العازلية هي ظاهرة يتم عن طريقها استهلاك للقدرة في سبيل إنتاج الحرارة، كنتيجة لانعكاس جهد إلكتروستاتيكي في العازل المعرض لإجهادات كهربائية متناوبة.

إن ضياع القدرة (W) وهو $V^2C\,\omega\tan\delta$ حيث V الجهد المطبق، C السعة بالفاراد، $\omega=2\pi f$ و f التردد بالهرتز.

يعتمد هذا الضياع، المعرف بضياع العازلية على السعة، والتي يتم تحديدها، عند أبعاد محددة للعازل والإلكترودات، عن طريق سماحية المادة العازلة. لذلك، فإن خصائص العازل التي تحدد مقدار الضياعات هي معامل الاستطاعة ($\tan\delta$) والسماحية. وبالتالي يكفي عادة الإشارة إلى الجداء $k\times\tan\delta$ عند المقارنة بين المواد العازلة من هذه الناحية. من الممكن الإشارة أيضاً إلى تغير هذه الضياعات بتغير مربع الجهد. وسيكون من الواضح بأن الضياعات تتغير بتغير مربع الجهد. يتغير معامل الاستطاعة أحياناً بشكل ملحوظ بتغير التردد، وكذلك مع درجة الحرارة. حيث تتزايد عادةً قيم $\tan\delta$ بارتفاع درجة الحرارة وبالتالي غالباً ما سيتعرض ضياع العازلية لزيادة ملحوظة لدى ارتفاع درجة الحرارة، وهذا ما يؤدي في معظم الأحيان إلى انهيار العازل كهربائياً أمام إجهادات التيار المتناوب a.c وبشكل خاص إذا كان ثخيناً، بما أن الضياعات تسبب ارتفاعاً في درجة الحرارة الداخلية، وبالتالي ارتفاعاً لمعامل الاستطاعة والسماحية، هذا الأثر يصبح تراكمياً مما يؤدي إلى عدم استقرار حراري ومن ثم الانهيار إذا لم يتم التخلص من الحرارة المتولدة داخلياً بصورة أسرع من سرعة تولدها. تتخذ هذه الخصائص أهمية كبيرة في حالة الراديو والتطبيقات المشابهة التي تتضمن ترددات عالية.

الناقلية الفائقة

تتبدى الناقلية الفائقة المثلى لبعض المواد المحددة من خلال خاصتين أساسيتين:

- تلاشي المقاومة لدى انخفاض درجة الحرارة إلى القيم الحرجة.
- ترحيل أي فيض مغناطيسي متواجد في المادة لدى وصول درجة الحرارة إلى القيم الحرجة أو الانتقالية.

تم اكتشاف الناقلية الفائقة في جامعة Leiden في عام 1911 من قبل الأستاذ Onnes عندما كان يتفحص العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة للزئبق. في السنوات التي تلت

ذلك، ظهرت عدة عناصر أخرى تبدي ناقلية فائقة، وطورت النظريات التي تشرح هذه الظاهرة. وقد كانت درجات الحرارة الانتقالية حوالي 10°K (-263°C)، وهذا يعني عملياً حتمية تبريد المادة بالهيليوم السائل عند الدرجة (4°K).

بشكل عام، اعتبرت هذه المواد أكثر بقليل من كونها ذات قيمة أكاديمية، حيث كانت تتحمل فقط شدة تيار منخفضة، في حقل مغناطيسي ضعيف، دون أن تفقد خواص الناقلية الفائقة.

في الخمسينيات تم اكتشاف صنف جديد من النواقل الفائقة، وكان من الخلائط أو المركبات التي استطاعت العمل تحت كثافة تيارات عالية جداً، بشكل نموذجي 10^5 A/Cm^2 وكثافة فيض مغناطيسي بشكل نموذجي 8Tesla. من بين هذه المواد الأكثر أهميةً التي تنتمي لهذا الصنف كانت الخليطة NbTi والمركب NB_3Sn.

كان تعاقب هذه الاكتشافات مستهلاً لنشاط عالمي دؤوب لتطبيقها في أنواع عديدة من تجهيزات الطاقة والمغانط للأغراض البحثية. كما بحثت إمكانية تطبيقها في مواضع أخرى كالحواسب والوسائط أو الأدوات ذات الحساسية العالية.

3

البلاستيك والمطاط في الهندسة الكهربائية

خصائص مواد الصب

تم إرساء فكرة أن البلاستيك أصبح من المواد الهامة جداً للمهندس الكهربائي وبشكلٍ خاص في استخدامه كعازل كهربائي، وكذلك من أجل الأجزاء الإنشائية، وأيضاً في بعض الحالات كبديلٍ عن المعادن. مصطلح "البلاستيك" هو مصطلح جامع شامل يغطي عدداً كبيراً من المواد الصنعية بشكل قوي وفعّال، تلك المواد التي تمتلك حقولاً من التطبيقات المتنامية بسرعة.

يمكن تقسيم البلاستيك بشكل عام إلى مجموعتين هما: المواد المتصلبة حرارياً والمواد اللدنة حرارياً. يختلف سلوك هاتين المجموعتين أثناء تعرضها للحرارة الخارجية. فتطبيق الحرارة على المواد المتصلبة حرارياً يؤدي مبدئياً إلى تليينها حيث يمكن أثناء هذه الفترة القيام بتشكيل هذه المادة أو صبها في قوالب. أما استئناف التسخين فيؤدي بالنتيجة إلى تغييرات كيميائية في المادة، تؤدي إلى تكوين جزئيات صلبة مترابطة بشكل متقاطع. لا تتأثر هذه المادة عندما تتعرض للحرارة بدرجات معتدلة، لكن من جهة أخرى قد يؤدي الإفراط في التسخين إلى حدوث التفكك الحراري. بالإضافة إلى التسخين فإنه يمكن تقسية أو معالجة المواد الراتنجية المتصلبة حرارياً عن طريق التحفيز أو الإشعاع ...الخ

عندما يتم تسخين المواد اللدنة حرارياً فإنها تلين وتصبح أقل صلابة وفي النهاية يمكن أن تصل إلى مرحلة أو طور تتحول فيه إلى سائل لزج، وعند تبريد هذه المادة تتصلب وتعود إلى حالتها السابقة، وقد تتكرر دورة التصليب والتليين - نظرياً - عدداً لا نهائياً من المرات. إلا أن التسخين المفرط قادر إذاً على أن يسبب تفكك غير عكوس للمادة.

الخلاف الرئيسي بين المواد المتصلبة واللدنة حرارياً هو أن الأولى نادراً ما تستخدم بدون إضافة مواد تقوية (تدعيم) أو مواد تعبئة متنوعة كالألياف العضوية أو غير العضوية أو المساحيق.

كثيراً ما تستخدم المواد اللدنة حرارياً بالشكل غير المعبأ، لكن يمكن إضافة بعض مواد التعبئة أو الألياف أو إضافات أخرى عند الحاجة إلى خصائص أو مواصفات خاصة.

بشكل عام تندرج العديد من المواد اللدنة حرارياً في زمرة المواد ذات الضياعات والسماحية المنخفضة، بالمقابل غالباً ما تمتلك المواد المتصلبة حرارياً قيم ضياعات وسماحية عالية.

المواد المتصلبة حراريا

إن العدد المتاح للصناعة من المواد المتصلبة حرارياً أقل من عدد المواد اللدنة حرارياً، ستتم الإشارة إلى المجموعات الأكثر أهمية والمستخدمة في حقل الهندسة الكهربائية وهي:

الفينول (Phenolic)، البلاستيك الأميني (Aminoplastic)، البوليستر(Polyester)، الإيبوكسي (Epoxy)، السيليكون (Silicon)، متعدد الأميدات (Polyimide)، الراتنجات الفينولية (Phenol resins). وسيتم عرض المزيد من التفاصيل عن هذه المواد لاحقاً في هذا الفصل.

كما تم التنويه للتو، نادراً ما تستخدم الراتنجات المتصلبة حرارياً بدون معالجة، وفيما يلي طرق المعالجة الأساسية التي يمكن اتخاذها كنموذج.

الترقيق (التصفيح) (laminating): تُشرّب مواد الألواح الليفية مثل مواد الزجاج والقطن، ورق السيللوز، الألياف الصنعية، والميكا مع الراتنجات وتُشكل في ألواح، أنابيب، وأشكال أخرى تحت تأثير التسخين والضغط ضمن مكبس أو أوعية محماة للضغط.

القولبة بالضغط (compression moulding): يمكن إنتاج مكونات بأشكال معقدة عن طريق إنضاج مركبات التعبئة والتدعيم تحت الحرارة والضغط في تجويف قالب معدني مناسب.

القولبة الانتقالية (transfer moulding): وهي تشابه القولبة بالضغط، ولكنها تتضمن مواد صب انتقالية منصهرة من الوعاء الانتقالي الساخن بواسطة أداة غاطسة ضمن نظام الصب.

القطعة المصبوبة (casting): تستخدم من أجل المركبات ذات الأساس الراتنجي مثل البوليستر والإيبوكسي بغية صب الأشكال المعقدة، على سبيل المثال مكونات العوازل الكهربائية والأغلفة الضخمة.

الخواص: تستخدم معظم المواد المتصلبة حرارياً كمركبات، وتعتمد الخصائص الناتجة بشكل جدي على خصائص المكونات الأساسية. فعلى سبيل المثال، يؤدي استخدام الألياف الزجاجية إلى تقوية منظومة راتنجية خاصة للحصول على مادة ذات معايير عالية كمقاومة أفضل للصدم، لدرجات الحرارة العالية بالمقارنة مع مادة مشابهة تستخدم ورق السيليلوز كمادة مقوية.

قد ينجم عن استخدام مجموعة متنوعة من الراتنجات والمواد الداعمة اختلاف كبير جداً في الخصائص ، ومن الممكن عرض بعض الأمثلة كنماذج فقط.

الراتنج الفينولي (فينول فورم الدهيد) PF: وهي مادة من نوع البيكاليت Bakelite المعروفة جيداً في الصناعة، يتم تصنيع أو تحضير الراتنج عن طريق رد فعل (ارتكاس) الفينول أو مواد حاوية على كريوزوت* Cresylic مع فورمالدهيد عند درجات حرارة تتراوح بين 90°C إلى 100°C إما مع أو بدون تحفيز.

* كريوزوت: إحدى مشتقات القطران الفحمي وتستخدم لحفظ الأخشاب وكمادة مطهّرة.

تنجز المعالجة المتعاقبة عادةً في مستوعب مجهز للإرجاع، مع ضمان الترتيبات اللازمة للتخلص من الماء الناتج أثناء التفاعل، تستخدم عادةً مواد: النشادر، الصوديوم، أو المواد القلوية الأخرى كمواد محفزة ويمكن في بعض الأحيان استخدام الحموض كمواد محفزة.

يتغير الزمن اللازم لبلمرة الراتنج والذي يؤثر على فوائده بشكل حيوي حسب مقتضيات العملية التصنيعية، حيث تتم معالجة بعض المواد الراتنجية خلال بضع ثوان عند درجات حرارة تقارب 150°C، في حين قد تحتاج بعض المواد الأخرى لمدة لا تقل عن الساعة أو أكثر. يتواجد الراتنج في بعض الأحيان على شكل مادة نصف سائلة، ولكن الأكثر شيوعاً هو الشكل الصلب عند درجات حرارة تليين تتراوح بين 60 °C إلى 100 °C. كبقية المواد المتصلبة حرارياً يمكن تركيب مادة PF مع مواد تعبئة، ومواد مخصبة، أو مواد مساعدة إضافية أخرى، وذلك لتشكيل مركبات الصب في القوالب والتي يمكن أن تعالج عن طريق عدد من التقانات وربما الطريقة المستخدمة والأكثر انتشاراً تتضمن الإنضاج تحت التسخين والضغط في قالب التشكيل المعدني لإنتاج المادة المصنعة.

قد تكون مواد التعبئة مواد رخيصة تستخدم في الراتنج جزئياً لغرض اقتصادي (تقليل التكلفة)، لكنها تستخدم أيضاً لتحسين الأداء وغالباً لتخفيف الصعوبات الناتجة عن بعض المؤثرات مثل انكماش القالب، معامل التمدد الحراري ... الخ.

من الأمثلة عن مواد التعبئة النموذجية نذكر قطع الملابس القطنية المستخدمة للحصول على مقاومة أكبر، والغرافيت لإنتاج مادة يمكن اعتبارها كموصل كهربائي بخواص جيدة، غالباً ما تستخدم نشارة الخشب كمادة تعبئة للأغراض العامة، إن الراتنجات PF رخيصة نسبياً كما تم الإشارة إليه للتو، قد تستخدم المواد الراتنجية هذه الأنسجة المخصبة أو القشور الخشبية أو الصفحات الورقية المتنوعة، وعندما يتم كبس هذه المواد على الساخن تنتج صفائح ذات مقاومة عالية، يمكن استخدام هذه الراتنجات السائلة المعدلة بشكل مناسب كمواد سريعة التماسك (لزجة) أو كمواد طلاء عازلة.

يمكننا اعتبار مواد PF، حسب مواد التعبئة المستخدمة معها، مناسبة من أجل فترات العمل الطويلة في ظل درجات حرارة واقعة في المجال 40°C - 120 °C، على الرغم من وجود بعض الأشكال المناسبة للعمل حتى من أجل درجات الحرارة الأعلى.

تكمن السلبيات الرئيسية لمواد PF في اقتصار ألوانها على الألوان المائلة للسمرة، ومن وجهة النظر الكهربائية هي المقاومة الضعيفة للأداء من أجل كل الكهرباء المحيطة، ولكن انخفاض التكلفة يجعلها المادة المفضّلة لمجال واسع من التطبيقات. فهي تستخدم بشكل واسع في الأجهزة وفي بعض الملحقات (الإكسسوارات) الكهربائية.

الراتنجات الأمينوبلاستيكية (راتنجات اليوريا والفورم الدهيد UF والميلامين فورم الدهيد MF): تنتمي هاتان المادتان الراتنجيتان للأمينوبلاستيك وهما أغلى ثمناً من الفينول، وهي مواد راتنجية نظيفة وغير ملونة، بينما يكون لمركباتها اللون الأبيض أو أحد الألوان الفاتحة. وتبدي مقاومة عالية لمؤثرات تتبع السطوح، وهي تناسب بشكل خاص التطبيقات المنزلية، لكن يجب عدم استخدامها في الأماكن الرطبة.

يتم إنتاج هذه المواد الراتنجية من جراء تفاعل اليوريا أو الميلامين مع الفورم الدهيد، وعندما يتم إجراء عملية تكثيف المواد الراتنجية UF بشكل جزئي فقط، يتم الحصول على ماء لزج قابل للذوبان ومفيد، يمكن تقسية هذه المواد بعد تطبيقها على الوصلات عبر وسائل إنضاج إضافية مناسبة. تتوفر مجموعة المواد الراتنجية MF الساخنة وبخواص جيدة كذلك عن طريق إضافة مواد تعبئة متنوعة، فالمواد الراتنجية UF و MF قد تصنع من مركبات يمكن صبها في قوالب للحصول على لوح صفائحي نسيجي وأنابيب، يستند ورق الزينة (الجدران) على لوح صفائحي حتى تتمكن السطوح من مقاومة الحرارة، حيث يتشكل لب هذه المادة عادةً من طبقات متعددة من ورق السليلوز المعالج براتنجات PF، وتحتوي السطوح التزيينية على طبقة من الورق المشبع براتنج MF تبعاً لمادة التعبئة المستخدمة، تعتبر المواد الراتنجية UF و MF المخزنة مناسبة للعمل عند درجات الحرارة 110°C-130 °C لفترة زمنية طويلة.

بفضل خصائصها الكهربائية الجيدة، ومقاومتها الممتازة لقابلية الاشتعال، تعتبر مواد UF مناسبة تماماً للاستخدام في تجهيزات شبكة أسلاك التمديدات المنزلية.

راتنجات الألكيد والبوليستر (UP): تستخدم المجموعة المسماة بالألكيدات بشكل رئيسي في الدهانات والورنيش، ومن أجل القولبة يتم استخدام مواد مختلفة بعض الشيء، تنتج راتنجات الألكيد من جراء تكثيف الحموض متعددة الأساس (على سبيل المثال: حمض فتاليك Phthalic وحمض ماليك Maleic) مع كحول متعدد الهيدوكسيل (مثل الغليكول Glicol والغليسرول Glycerol)، وهي فعلياً غير متسلسلة وأنواعها حديثة بعض الشيء، وتصبح ذات مقاومة حرارية عالية عندما تستخدم متحدة مع مواد التعبئة، تشكل راتنجات البوليستر غير المشبع UP عادةً حلولاً لراتنجات الألكيدات غير المشبعة في الجزيئات المفردة التفاعلية ومنها الستيرين المستخدم عموماً.

عن طريق إضافة مواد منشطة مناسبة لهذه الراتنجات يمكن معالجتها عند درجة حرارة الوسط المحيط وعند الضغط صفر (الضغط بالتماس)، وذلك لإنتاج بنى قوية وضخمة وبتكلفة منخفضة نسبياً، من جانب آخر تشكل ألياف الزجاج مسبق التخصيب مركب دعم وتقوية يدعى "مركب عجينة الصب في القوالب" (DMC)، ويمكن أن تتم معالجته بسرعة عند درجات حرارة وضغوط عالية لتشكيل مصبوبات متينة ودقيقة الأبعاد، وألواح عازلة كهربائياً ذات خواص ميكانيكية جيدة، ومستقرة حرارياً، تستخدم مثل هذه المصبوبات في القواطع الكهربائية الآلية، كما هي الحالة بالنسبة لألواح العزل الكهربائي، تستخدم مصبوبات ألياف البوليستر الزجاجية أو البلاستيك المدعم (RP أوGRP) للأغطية والحافظات وأعمدة خطوط الانتاج وسلالم العزل، والعديد من التطبيقات التي تتطلب مكونات ضخمة وقوية ومعقدة العزل.

السيليكون: بالإضافة إلى الراتنجـــات القاسية والمعالجـــة، يتوفر أيضاً سيليكون الأستوميرات (المطاط الطبيعي)، تمتاز هذه المواد بمقاومة حرارية وكيميائية مميزة، وكذلك فإن مقاومتها للتفريغ الكهربائي ممتازة، يمكن تطبيق سيليكون الأستوميرات على الأنسجة الزجاجية والعوازل المنسوجة لتكوين مادة عازلة مرنة مناسبة لاستخدامها تحت درجات الحرارة العالية، تتوفر مواد تعبئة الصب في القوالب المغلفة وسوائل عازلة كهربائياً تستند على راتنجات السيليكون لاستخدامها عند درجات الحرارة المرتفعة.

راتنجات بولي أميد (PI): قادت التطورات الأخيرة إلى حد ما إلى راتنجات البولي أميد العضوية التي أبدت مواصفات جيدةً عند درجات حرارة تنتمي للمجال 250-300°C. لهذا السبب تستخدم عادةً مع الزجاج أو داعمات ليفية ذات درجة حرارة عالية، وتتطلب أثناء التشغيل الإنضاج بوجود الحرارة والضغط ولكن بحرص وذلك عند الرغبة في الحصول على خصائص جيدة، وذلك يسبب انبعاث المنتجات الطيارة أثناء العملية، ولكن هناك أملٍ بالتغلب على هذه الصعوبة مع الزمن، وهي ذات خصائص كهربائية ممتازة أيضاً.

راتنج الفينول: طورت شركة Friedel Craft حديثاً خط إنتاج لراتنج مستند على التكثيف المتبادل فيما بين الفينول و Polyaralky lether. والمادة مشابهة في خواصها الميكانيكية والكهربائية لبعض راتنجات الإيبوكسي غير أنها ذات قدرات حرارية أكبر تشابه في ذلك راتنجات السيليكون. وتقع الكلفة في الوقت الراهن بين الاثنين، وتمتاز بإمكانية العمل لفترة زمنية طويلة عند درجات حرارة 220-250°C.

تستخدم هذه الراتنجات عادةً مع الداعمات النسيجية الزجاجية وذلك بهدف إنتاج الرقائق أو الأنابيب، ومع مواد التعبئة كالأسبستوس الليفي بغرض صب القوالب.

راتنجات الإيبوكسي: يتم إنتاج راتنجات الإيبوكسي بواسطة تفاعل تبادلي بين Epichlorohydrin و Diphenylalprpan ضمن وسط قلوي. الخواص الكهربائية لهذه المادة المتصلبة حرارياً واضحة مع مقاومة جيدة للقلويات والحموض غير المؤكسدة، وامتصاص ضعيف جداً للرطوبة، ومجال درجات حرارة الاستقرار يمتد من 40°C- وحتى 90°C+.

تستخدم راتنجات الإيبوكسي في الصناعات الكهربائية بشكل واسع في إنتاج العوازل الكهربائية، ووسائط تغليف وتوزيع أجهزة المحولات، وعندما يتم تدعيمها بالزجاج فإنها تستخدم في الدارات المطبوعة.

المواد اللدنة حرارياً

في الفقرة التالية، سنناقش المواد اللدنة حرارياً والمستخدمة في تطبيقات الهندسة الكهربائية المتنوعة، وقد تم التطرق لخواصها بشيء من التفصيل.

البولي إيتلين (PE): استخدمت هذه المادة ذات الإرجاع المرن القاسي جداً للمرة الأولى كعازل للكابلات منخفضة الجهد عالية التردد المستخدمة في الرادار، وتعتبر مادة ذات خصائص ضياع منخفضة، وقد استخدمت أو استثمرت في الكابلات البحرية عالية الأداء، وكذلك تم استخدامها لأغمدة كابلات الهواتف.

البولي تترافللورثيلي (PTEE): وهي مادة لينة ومرنة نسبياً، وخاملة كيميائياً، ويمكنها تحمل درجات الحرارة المستمرة في المجال 250°C± ، وتمتاز بخواص عزل ممتازة أيضاً لمجال واسع من درجات الحرارة.

تستخدم كمادة عازلة كهربائياً وكعازل في الكابلات ذات درجات الحرارة العالية وكوسائل مباعدة وتوصيل في الكابلات عالية التردد، وكذلك تستخدم كسدادات إحكام (مانعة للتسرب) في المكثفات والمحولات ولحوامل الصمامات.

مادة Polyvrnylchloride (PVC): وهي مادة بلاستيكية صلبة، قاسية، قوية، خشنة، ذات مقاومة للوسط المحيط، ومقاومة كيميائية ومقاومة للحت، تستخدم لمواسير الأسلاك وصناديق الوصلات، يمكن أن ينتج دخول الملدنات مركبات PVC ذات مجال مرونة عريض، والاستخدام الكهربائي لها هو في عزل كابلات الترددات المنخفضة، وأغشية أو أغلفة العوازل المصبوبة.

بولي بروبلين (PP): تجمع هذه المادة بين مقاومة التعب، القساوة، التحمل الحراري، والمقاومة الكيميائية الممتازة، وقد استثمرت خواصها الكهربائية الجيدة في عزل كابلات التردد العالي والضياعات المنخفضة، يستخدم فلم (PP) الموجه ثنائي المحور في صناعة مكثفات الطاقة ذات بنية إما طبقة رقيقة أو طبقة ورق رقيقة، وكذلك لمكثفات تفريغ الطاقة السريعة.

البوليستر Polyester (P): كما هو حال الفلم الموجه ثنائي المحور، فإن مادة Polyetheyleneterephyhalate ذات مقاومة كهربائية عالية، ومقاومة حجمية عالية، ومرونة، ومتانة، ومقاومة ميكانيكية ممتازة ودرجة حرارة عمل عالية.

الجدول (3.1) الخصائص النموذجية لبعض المواد المصبوبة

نوع الراتنج المقسى بالحرارة	فينول فورم الديهيد	حمض فورم ألديهيد	ميلامين فورم ألديهيد	ايبوكسي	بوليستير غير مشبع
نوع مادة التعبئة	نشارة خشب/زغبات قطن	سليللوز ألفا	سيللوز ألفا	معدني	معدني
الكثافة kg/m^3	1320-1450	1470-1520	1470-1520	1700-2000	1600-1800
درجة حرارة التشوه °C	125-170	130-140	200	105-150	90-120
كمية الرطوبة الممتصة بعد 24h في درجة حرارة الغرفة %	0.3-1.0	0.4-0.8	0.1-0.6	0.05-0.2	0.1-0.5
المقاومة الحجمية في درجة حرارة الغرفة Ωm	10^7-10^{11}	10^{10}-10^{11}	10^{10}-10^{12}	$>10^{13}$	10^{11}
الجهد الكهربائي في درجة حرارة الغرفةkV r.m.s./mm	8-17	12-16	12-16	18-21	15-21
ظل زاوية الضياع عند 1 MHz ودرجة حرارة الغرفة	4.5-6.0	6.0-7.5	7.0-8.0	3.0-3.8	3.5-4.2
مقاومة الفتل أو الثني عند درجة حرارة الغرفة MN/m^2	55-85	70-110	70-110	80-110	60-100
مقاومة الشد في درجة حرارة الغرفة MN/m^2	45-60	40-90	50-100	60-85	20-35
معامل المرونة في درجة حرارة الغرفة GN/m^2	5-8	7-9	7-9	8-10	7-9
الناقلية الحرارية العمودية على السطح W/m°C	0.17-0.21	0.3-0.4	0.25-0.4	0.5-0.7	0.4-0.6

الجدول (3.2) الخصائص النموذجية لبعض المواد المسحوبة

نوع الراتنج المقسى بالحرارة	فينول فورم الديهيد			ميلامين فورم الديهيد		البوليستر غير المشبع	الأيبوكسي	السيليكون	البولي أميد	Polyaralkydether /phenols
المقوية	أوراق السيليلوز	أقمشة قطنية	فنسور خشبية	أوراق الأسبستوس	أقمشة زجاجية	أقمشة زجاجية	أقمشة زجاجية	أقمشة زجاجية	أقمشة زجاجية	أقمشة زجاجية
الكثافة kg/m^3	1340	1330	1300	1700	1700	1750	1770	1650	1850	1770
الرطوبة الممتص بعد 24h في الماء %	0.5-3.0	0.5-3	1.5-3	0.1-0.5	0.5-1	0.2-0.5	0.1-0.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
ظل زاوية الضياع عند 1MHz، $\tan\delta$	0.02-0.04	0.04-0.06	0.05	N/a	0.02-0.04	0.01-0.03	0.005-0.02	0.001-0.003	0.01-0.02	0.01-0.03
السماحية 1 MHz	5-6	5-6	4-5	N/a	6.5-7.5	4-5	4.5-5.5	3.5-4.5	4-4.5	4.8
المقاومة الكهربائية الطبيعية للرقائق في الزيت 90°C بواحدة kVr.m.s./mm	12-24	12-18	3-5	1-5	10-14	10-18	16-18	10-14	16-20	28-34
المقاومة الكهربائية على طول الرقاقة في الزيت عند 90°C بواحدة kVr.m.s./mm	40-50	25-35	25-30	5-15	25-35	30-50	35-45	30-40	60-80	
مقاومة الثني MN/m^2	140-210	105-140	105-210	140-210	200-310	280-350	350-450	105-175	350-520	520
مقاومة الشد MN/m^2	85-110	70-105	85-170	105-140	175-240	210-240	240-310	105-175	350-450	350-450
معامل المرونة GN/m^2	6-11	5-8	14-17	7-9	12-15	7-12	12-14	4-9	20-28	35
معامل التمدد الحراري في مستوى الصفيحة لكل $^{\circ}C\times10^{6}$	10-15	17-25	8-15	15-25	10-15	10-15	10-15	10-12	5-10	N/a

تشمل تطبيقاتها الكهربائية الرئيسية: عزل المحركات، تنظيف الكابلات، عوازل المحولات، الوشائع والريليات، والأسلاك السطحية للدارات المطبوعة، وتستخدم في المكثفات كطبقة تلبيس معدنية رقيقة (فلم).

مواد لدنة أخرى: يستخدم فلم من البولي كربون Polycarbonate (PC)، أو أوكسيد البولي فينيلين Polyphenylene oxide (PPO) أو البولي كبريتون Polysulphore، كعوازل كهربائية في المكثفات، يتم استثمار العديد من المواد اللدنة حرارياً في تطبيقات الهندسة الكهربائية لاعتبارات ميكانيكية أكثر منها كهربائية، على سبيل المثال:

تصنع الصناديق، الأغطية، الحاويات من مادة ABS (أكريلونيتريل Acrylonitirle-بيوتادين Butadiene-ستايرين Styrene) أو من PVC أو POM (أسيتال)، PPO,PP,PC والنايلون. وقد استغلت اللافتات المنارة في الهواء من مادة CAB (Cellulose acetate butyrate) و PVC (Acrylic). بينما تستخدم تجهيزات ولوازم ناشرات ضوء النيون (الفلوريسانت) المادتين PMM و PS (البوليستيرين Polysterene).

الخصائص الكهربائية: إن معظم المواد اللدنة حرارياً هي عوازل كهربائية جيدة، ولذلك فهي بارزة بعض الشيء، غالباً ما يعتمد اختيار المادة البلاستيكية لتطبيق ما على عوامل غير الخصائص الكهربائية في المقام الأول، الخواص الميكانيكية على سبيل المثال سلوك الزحف، المقاومة لفترات طويلة، التعب، الصدم (انظر BS 4618) هي جميعها عوامل مفصلية، يمكن أن تساهم في الاختيار كذلك مقاومة الحت (التآكل) والاستقرار الحراري، وهناك عامل آخر ذو أهمية متنامية هو قابلية المادة للإشتعال حيث تعتبر العديد من المواد المتصلبة حرارياً مثل PVC و Polycarbonate والنايلون معوقات اشتعال أصلاً. في حين أن العديد من المواد البلاستيكية الأخرى داعمة للاشتعال إذا لم يتم تعديلها، بينما تتجسد الخواص الكهربائية من خلال خمس مواصفات هامة جديرة بالاعتبار هي: المقاومة، السماحية، عامل الاستطاعة، الانهيار الكهربائي، السلوك الإلكتروستاتيكي، والموصلية (الناقلية).

تظهر بعض المواد البلاستيكية في درجة حرارة الغرفة (مثلاً PVC عالي اللدونة)، سلوكاً أومياً وعليه فإن التيار يصل إلى قيمته المستقرة. من أجل معظم المواد البلاستيكية إذاً، تعتمد المقاومية خلال زمن التزود بالكهرباء (الكهربة)، والجدول

(3.3) يقدم المعلومات عن المقاومية الحجمية الظاهرة عند عدة أزمنة متغيرة للكهربة. تعتمد قيم المقاومة السطحية على حالة سطح المادة البلاستيكية وبشكل خاص على وجود شوائب من الهيدروفيليك (Hydrophilic) التي قد تتواجد، أو قد تكون على شكل إضافات في المواد البلاستيكية وتعتمد النتائج بشكل كبير على الشروط المحيطية وبشكل خاص على الرطوبة النسبية.

الجدول (3.3) المقاومة الحجمية الظاهرية عند 20°C لعدد مرات كهربة مختلف

المادة	زمن الكهربة (sec)		
	10	100	1000
Low density polythene	10^{18}	10^{19}	$>10^{19}$
High density polythene	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$
Polyropylene	10^{17}	10^{18}	10^{18}
Flexible PVC	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$
Rigid PVC	2×10^{15}	3×10^{16}	10^{17}
Poly (methyl methacrylate)	2×10^{15}	2.5×10^{16}	10^{17}
PTFE	$>10^{18}$	$>10^{19}$	$>10^{19}$
Polyacetal	-	$>10^{14}$	-
Nylon 6	-	$>10^{12}$	-
Nylon 66	-	$>10^{12}$	-
Nylon 610	-	$>10^{13}$	-
Thermoplastics polyesters (oriented film)	10^{16}	10^{17}	10^{17}
Polyethersulphone (dried)	3×10^{16}	1.5×10^{17}	10^{18}
Polysulphone	4.1×10^{16}	5.2×10^{17}	3.2×10^{18}
Polycarbonate	-	9×10^{15}	-

تكون سماحية العديد من المواد البلاستيكية غير المؤينة، PE مثلاً، ثابتة بشكل جوهري مع التردد ويمكن أن يعود التغير في درجة الحرارة إلى التغيرات في الكثافة وذلك باستخدام علاقة كلاوزيوس-موسوتي (Clausius-Mosotti). لا تطبق هذه الاعتبارات من أجل المواد الشائعة.

يقدم الجدول (3.4) معلومات عن السماحية وعامل الاستطاعة عند درجة الحرارة 20°C وعند ترددات واقعة في المجال من 100 Hz وحتى 1MHz.

يشير الجدول (3.5) إلى ارتباط درجة الحرارة مع هذه الخواص من -50°C إلى +150 °C عند تردد 1kHz.

عند تعرض تركيب مكون من عازل/موصل لجهود عالية في ظل غياب التفريغ الكهربائي، فإن التأثير يمكن أن يحرض مجموعة جديدة من شروط التوازن الحراري، أو ينتج سلوك حراري متدرج يؤدي إلى الانهيار الكهربائي في النهاية، لكن من ناحية أخرى في العديد من المواد البلاستيكية ينتج الانهيار عن التفريغ الكهربائي (شرارة) قبل الانهيار بسبب التدرج الحراري، وذلك إما عن طريق توليد مسارات ناقلة عبر المادة أو على سطحها أو عن طريق التعرية (التآكل). هذا الحدث يظهر الأهمية الخاصة لعملية إنهاء السطوح في التأثير على مقاومة المسارات، لذلك يكون سعي المصمم للتحرر بشكل كلي من التفريغ في التجميعات يكون العمر الطويل للتجميعة من المطالب الملحق.

إحدى نتائج المقاومة العالية التي قد تحوزها المواد البلاستيكية هي وجود شحنة الكهرباء الساكنة في المادة. كثيراً ما يكون ظهور المشاكل المرتبطة بالتقاط الغبار أو تنامي الشحنة على السجاد قابلاً للحل عن طريق تطبيق طلاء ماص لرطوبة الهواء (hydroscopic) على تلك السطوح أو إرساء مفرغات للشحنات الساكنة في البلاستيك التي ستترح إلى السطح المتبلمر وتخفف من مقاومية السطح.

في الأماكن التي قد يؤدي أو يقود تفريغ الشحنة إلى أوضاع خطيرة، يجب استخدام بلاستيك من النوع المضاد للشحنة الساكنة.

يتم إنتاج المواد البلاستيكية الناقلة عادةً عن طريق إدخال مركزّات عالية من كتل الكربون المفتولة (الفتيلية) أو بعض المواد المبلمرة من ناحية أخرى داخل قوالب عازلة كهربائياً.

الجدول (3.4) اعتماد التردد على السماحية وعامل الاستطاعة عند 20°C ورطوبة نسبية 50%

عامل الاستطاعة					السماحية					المادة
1 MHz	100 kHz	10 kHz	1 kHz	100 Hz	1 MHz	100 kHz	10 kHz	1 kHz	100 Hz	
1.5×10^{-4}	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	Low density polythene
$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	High density polythene
$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	Polypropylene
$<10^{-1}$	$\sim10^{-1}$	$\sim10^{-1}$	$\sim10^{-1}$	$\sim10^{-1}$	3	3-4	4-5	5-6	5-6	Flexible PVC
	$\sim2\times10^{-2}$	$\sim2\times10^{-2}$	$\sim2\times10^{-2}$	10^{-2}		3.3	3.3	3.4	3.5	Rigid PVC
1.5×10^{-2}	2×10^{-2}	3×10^{-2}	4×10^{-2}	5×10^{-2}	2.7	2.8	2.8	3.0	3.2	Poly (methyl methacrylate) dried
$<10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-2}$	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	PTFE
8×10^{-3}	1.2×10^{-2}	2×10^{-2}	2.5×10^{-2}	1.9×10^{-2}	2.48	2.5	2.56	2.65	2.7	PCTFE
-	3.2×10^{-3}	2.8×10^{-3}	2.5×10^{-3}	2×10^{-3}	-	3.7	3.7	3.7	3.7	Polyacetal
6×10^{-2}	-	-	3×10^{-3}	-	3.6	-	-	4	-	Nylon 6
$\sim5\times10^{-2}$	$\sim6\times10^{-2}$	$\sim6\times10^{-2}$	$\sim6\times10^{-2}$	$\sim5\times10^{-2}$	3.4	3.7	4.0	4.5	4.9	Nylon 66
5×10^{-2}	$\sim4\times10^{-2}$	$\sim4\times10^{-2}$	$\sim4\times10^{-2}$	$\sim3\times10^{-2}$	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	Nylon 610
-	1.5×10^{-2}	1.2×10^{-2}	7×10^{-32}	3×10^{-3}	-	3	3	3	3	Polysters (linear oriented film)
	5×10^{-3}	2×10^{-2}	1×10^{-3}	1.2×10^{-3}	-	2.95	2.95	2.95	2.96	Polycarbonates
-	-	3.1×10^{-3}	2.1×10^{-3}	1.5×10^{-3}	-	-	3.6	3.6	3.6	Polyethersulphone, dried
-	-	1.6×10^{-3}	9.7×10^{-4}	2.2×10^{-3}	-	-	3.16	3.16	3.16	Polysulphone

الجدول (3.5) اعتماد درجة الحرارة °C على السماحية وعامل الاستطاعة عند 1KHz

المادة	السماحية					عامل الاستطاعة				
	-50	0	50	100	150	-50	0	50	100	150
Low density polythene	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	-
Polypropylene	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	$<5\times10^{-4}$	-
Flexible PVC	3	3-4	7	7-8	-	$\sim2\times10^{-2}$	$\sim8\times10^{-2}$	$\sim8\times10^{-2}$	$\sim2\times10^{-2}$	-
Rigid PVC	3.1	3.3	3.7	12	-	$\sim2\times10^{-2}$	$\sim2\times10^{-2}$	$\sim2\times10^{-2}$	1×10^{-1}	-
Poly (methyl methacrylate) dried	2.7	2.9	3.3	4.2	-	1×10^{-2}	3×10^{-2}	7×10^{-2}	8×10^{-2}	-
PTFE	2.1	2.1	2.05	2.0	1.95	5×10^{-5}	$<5\times10^{-5}$	$<5\times10^{-5}$	$<5\times10^{-5}$	$<5\times10^{-5}$
PCTFE	2.43	2.55	2.75	2.83	2.89	5×10^{-3}	2×10^{-2}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	2.5×10^{-3}
Polyacetal	3.5	3.7	3.75	3.8	-	2×10^{-2}	2.5×10^{-2}	1.5×10^{-3}	2.5×10^{-2}	-
Polysters (linear oriented film)	3	3	3	3	3.3	1.2×10^{-2}	1×10^{-2}	3×10^{-5}	5×10^{-3}	8×10^{-3}
Polycarbonates	3	3	3	3	3	6×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-3}
Polyethersulphone	-	-	3.57	3.56	3.54	-	-	8×10^{-4}	1.2×10^{-3}	7.4×10^{-4}

المطاط في الهندسة الكهربائية

المطاط هو مركب عضوي مشتق من عصارة الشجر، أو يصنع بالتركيب، وهو موصف عبر بعض النوعيات الفريدة وخاصةً ذات المرونة العالية. تشكل العصارة الطبيعية أو الصناعية المادة الرئيسية للمطاط الصناعي والمطاط المعالج بالكبريت، وهو يتواجد عبر عدد من أشكال المنتج الرئيسي النهائي. لتصنيف مادة ما على أنها مادة مطاطية أكثر منها بلاستيكية، يجب أن تتحلى بأربعة متطلبات هي:

1. أن تكون مكونة من سلاسل جزيئية طويلة
2. أن تكون هذه السلاسل الجزيئية الطويلة مترابطة بشكل خفيف (معالجة بالكبريت)
3. يجب أن تكون درجة الانتقال الزجاجي أدنى من درجة حرارة الغرفة
4. يجب أن تكون كذلك درجة انصهار البلورات أدنى من درجة حرارة الغرفة.

يحقق المطاط المعالج بالكبريت جميع هذه المتطلبات الأربعة، وله تطبيقات في صناعة الكابلات وحقول كهربائية أخرى.

يعطي الجدول (3.6) حدود درجات الحرارة بالدرجات المئوية للتطبيقات العملية المختلفة للمطاط، ويقدم الجدول (3.7) بعض الخواص الكهربائية لبعض نوعيات المطاط.

الجدول (3.6) حدود درجات الحرارة °C لبعض أنواع المطاط

Natural rubber	-50 - 60
Styrene butadiene rubber	-45 - 65
Butyl rubber	-30 - 80
Chloroprene rubber	-20 - 70
Nitrile rubber	-10 - 90
Polysulphide rubber	-50 - 100
Fluor rubber	-30 - 150
Ethylene propylene rubber	-50 - 90

الجدول (3.7) الخواص الكهربائية للمطاط

المادة	المقاومة الحجمية بواحدة 10^{-2} Ω.cm	ثابت العازلية عند 1 kHz	Tan δ عند 1 kHz	حجم الانهيار بواحدة kV/cm (50 Hz بعد ساعتين)
Natural rubber	10^{15}-10^{17}	2.3-3.0	0.0025-0.0030	210
SBR	10^{15}	2.9	0.0030	260
Butyl rubber	10^{17}	2.1-2.4	0.0030	220
Nitrile rubber	10^{10}	13.5	0.055	165
Polychloroprene rubber	10^{11}	9.0	0.030	225
Polysulphide rubber	10^{12}	7.0-9.5	0.001-0.005	200
Fluor rubber	10^{18}	2.0	0.0002	250
Polyethylene rubber	10^{15}-10^{19}	2.3	0.0005	200
Ebonite	10^{14}-10^{16}	2.8-4.0	0.005	250

إن نظرة سريعة على الجدول (3.7) تظهر بأنه بشكل عام، تتمتع المواد المعالجة بخصائص كهربائية جيدة مع وجود استثناء لمادة مطاط النتريل (Nitrile polychloropropane) والبولي يوريثان (Poly urethane) وهذا الأخير لا يناسب تطبيقات الترددات العالية بسبب ارتفاع فقد (ضياع) العازلية.

لم يدم استخدام الايبونيت (Ebonite) للأغراض الكهربائية طويلاً، حيث استبدل بمواد بلاستيكية على غرار البولي ايثيلين (Poly ethylene) ولكنه وارد في الجدول من أجل الإحاطة بالموضوع كاملا.

صمغ غوتابرشا (Gutta-percha) هو مطاط طبيعي متساوي الأجزاء استخدم في الكابلات البحرية، وكذلك استبدل بمادة البولي ايثيلين (Poly ethylene).

نعتبر الكابلات الصناعية من الاستخدامات الكبرى للمطاط لأغراض العزل والتغليف، إن مطاط الايثيلين البروبلين (EPR) والنسخة المقساة منه (HEPR) موصفة

في الجدول BS 6469، BS 6899 على التوالي، وهذا الأخير مناسب للاستخدام عند درجات حرارة تصل لغاية 90°C.

تمتلك EPRs منطقة مقاومة جيدة تجعلها مناسبة للجهود العالية، وكما هي الحال بالنسبة للمطاط الطبيعي فهي مادة قابلة للاشتعال وليست مقاومة للزيت بشكل خاص، وهكذا فإن لب الكابلات المعزولة يجب إنتاجه مع بعض أنواع الأغشية.

استخدم مطاط البيوتيل (الاصطناعي) Butyle كوسط عازل في الكابلات الكهربائية، لكن مقاومته الميكانيكية المحدودة أدت إلى فقدانه لأهميته في هذا المجال، ومع ذلك ما زال مستخدماً في تشبيك أسلاك الكابلات، ومن ناحية ثانية يمكن أن يعمل عند درجات حرارة محيطية عالية ولذا يستخدم في بعض الأحيان على أنه كبل دخول في تجهيزات الإضاءة.

أضحى المطاط السيليكوني، وبشكل متزايد، شائع الاستخدام كمادة عازلة في الكابلات المقاومة للاشتعال.



أنصاف النواقل والوسائط نصف الناقلة

أنصاف النواقل

متابعة للرواد الأوائل لعلم الكهرباء، عمل فاراداي (Faraday) في أواخر القرن التاسع عشر على وضع أسس نمو أو تطور صناعة الطاقة الكهربائية. وقد تجلى ذلك من خلال تطور الآلات الكهرومغناطيسية كالمحركات والمولدات والمحولات. وكذلك بالطبع مجموعات المفاتيح الكهربائية الملحقة، والكابلات الداعمة لهدف النقل والتوزيع.

بالرغم من التحسين والتصفية الكبيرة، أمكن إدراك الكثير من هذه التجهيزات ومبادئها الأساسية وصياغتها بشكل واضح ومشابه للأجهزة المطورة خلال الثمانين إلى المائة سنة الماضية. شكل كل من النحاس والحديد وبعض مواد العزل المتنوعة التي تم التطرق إليها في الفصول السابقة، المواد التي ارتكزت عليها صناعة الطاقة الكهربائية. لكن ظهرت في منتصف القرن العشرين مادة جديدة أحدثت ثورة في التكنولوجيا الكهربائية خلال النصف الأخير من القرن الماضي ومطلع القرن الحالي. فقد أدت إلى تغييرات كبيرة في حقل الإلكترونيات وتبدى ذلك بوضوح من خلال طمس الحدود المعرّفة والواضحة للطاقة الإلكترونية والكهربائية، هذه المادة كانت السيليكون. صحيح أن الهاتف والمذياع والرادار وحتى الحواسب كان قد جرى تطويرها باستخدام الصمامات المتأينة حرارياً في النصف الأول من القرن العشرين، لكن هذه التقنيات لم تكن تمتلك الشمولية والتعقيد، اللذين نعتبرهما الآن من

المسلمات، حتى أصبحت قادرة على الاستفادة من فوائد الشريحة السيليكونة. تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من أن السيليكون ليس المادة الوحيدة التي تمتاز بخصائص أنصاف النواقل وأن القليل فقط من خصائصه يعتبر مثالياً، لم يتم اكتشاف أية مادة أخرى ذات خصائص أقرب إلى المثالية منه بحيث يمكننا الاستغناء عنه في صناعة كافة الأجهزة الحالية، بل وحتى القليل منها. تعتبر بلورات السيليكون النقية من العوازل الجيدة نسبياً لأن شبكة البلورات لا تملك الإلكترونات الحرة المرتبطة عادةً بانتقال التيار الكهربائي كما هو الحال في بعض المواد كالنحاس والفضة، وذلك بسبب البنية الشبكية رباعية السطوح لبلورات السيليكون. كذلك فإن ذرة السيليكون لها أربعة إلكترونات خارجية وتكون مقفلة ضمن البنية الشبكية للبلورة المكونة من الذرات المستقلة.

بإضافة مقدار صغير جداً من الشوائب من مرتبة (1 ppm)، كالفوسفور أو الزرنيخ التي تمتلك خمسة إلكترونات خارجية إلى البلورة، يتولد عدد من الذرات ذات إلكترون فائض وحيد ضمن البلورة. هذا الإلكترون الحر قادر على التحرك ضمن البلورة تحت تأثير أي فرق كمون مطبق، وهذا ما يكسب المادة أداء الموصلية الكهربائية. وبما أن موصلية المادة تنشأ نتيجة لتحرك الشحنة السالبة وهو الاصطلاح التقليدي لمرور التيار، فقد سميت المواد التي تضم مثل هذه الشوائب بالمواد من النوع n (n-Type).

بالمقابل، الشوائب التي تمتلك ثلاثة إلكترونات خارجية كالبورون أو الغاليوم، يمكن بإضافتها للبلورة نشوء نقص إلكترون عند بعض نقاط الشبكة يصطلح على تسميتها بالثقوب Holes. يمكن أن تتحرك هذه الثقوب تحت تأثير أي فرق كمون مطبق وباعتبار وجود ثقب ذي شحنة موجبة في البلورة، فإن المادة تسمى عندئذ مادة من النوع p (p-Type).

يؤدي تقاطع مادة من النوع p مع أخرى من النوع n إلى الحصول على وصلة p-n والتي يتكون منها المقوم (الديود) rectifier والذي يعتبر اللبنة الأساسية لكافة العناصر نصف الناقلة الأخرى تقريباً. يمكن إضافة الشوائب إلى مصهور المادة أحادية البلورة أثناء تطورها، ويمكن إنتاج بلورة مفردة طويلة وبقطر حتى 200 mm. وسيرى ذلك عدة مرات على طول مستوي البلورة المعدلة بشكل جيد، وبالتالي

سيؤرض كل جزء ويصقل من طرف واحد أو طرفين ومن ثم يمكن إجراء إشابة (إضافة شوائب) إضافية أثناء إنتاج الوسائط المتنوعة بإنتاج شوائب الذرات في فرن تقارب درجة حرارته 1000°C. ويمكن إجراء ذلك عن طريق خلق قناع من ثاني أكسيد السيليكون على سطح الجزء ومن ثم حفره ليظهر السيليكون في العينة المطلوبة وبالشكل المطلوب. هناك تقنية مغايرة أكثر دقة إلا أنها أكثر كلفة وهي تقنية الغرس الأيوني. تستند هذه التقنية على إطلاق حزمة من الأيونات المشحونة بشكل مناسب عند سطح الجزء وفي النقاط المطلوب حفرها، بما أن هذا التصادم الأيوني سيؤدي إلى إتلاف السطح، يجب تحمية هذا الجزء لفترة طويلة.

استخدمت أجهزة أنصاف النواقل الأولى العناصر المفردة أي الديودات، الترنزستورات، الثايرستورات بهدف الحصول على المضخمات، أو الدارات المنطقية، أو المقومات بطرق مماثلة لتلك المستخدمة في الصمامات. إلا أن الفائدة الكبيرة التي نتجت عن استخدام أنصاف النواقل في الإلكترونيات ازدادت بشكل أكبر عندما تم دمج العناصر المفردة في دارات متكاملة (integrated Circuits). تجدر الإشارة إلى أن أجهزة الطاقة العالية (power) (أي الأجهزة التي تتعامل مع تيارات تتراوح بين عدة مئات من الميللي أمبير وحتى 5KA) لا تزال تعتمد على العناصر المفردة.

يقدم استخدام الدارات المتكاملة عدداً من المزايا التي تزداد كلما ازداد الضغط باتجاه تصغير الدارة. تكمن إحدى المزايا الهامة التي يمكن الحصول عليها من جراء تخفيض الحجم في التخفيف من آثار العيوب في بلورة السيليكون. ففي العديد من الدارات المتكاملة يمكن أن تحتوي شريحة السيليكون على عدد ضخم من الدارات المتماثلة لتأدية وظائف منطقية في الحواسيب على سبيل المثال. فإذا كان حجم هذه الشريحة كبيراً، فإن احتمال وجود العيب سيكبر، عندئذ يجب إضافة عدد من الدارات الفائضة لاستبعاد الدارات المعطوبة، من الواضح إذاً أنه كلما كانت إمكانية صناعة الدارات الصغيرة أكبر، كلما كان حجم الشريحة أكبر الأمر الذي يقلل من احتمال حدوث الأعطال. وبالتالي، إلى حد ما، كلما كانت الدارات أصغر، كلما انخفضت الجهود اللازمة لتوليد حركة الإلكترونات والثقوب ضمن المادة وبالتالي الوصول إلى سرعة الاستجابة المطلوبة. وهذا ما يؤدي إلى اختزال

طاقة العمل اللازمة وكذلك انخفاض الحرارة المتولدة بسبب الضياعات. يقترن اختزال حجم المكونات باختزال متطلبات طاقة الدخل والضياعات والتبريد، ولذلك تتجسد عدة إيجابيات في تخفيض الحجم الكلي وكلفة الأجهزة.

الدارات الصغرية ذات الفلم الرقيق (أو ذات الفلم الثخين): تستخدم الأفلام الموصلة الرقيقة والثخينة في الدارات الصغرية بهدف وصل المكونات الفعالة كالترانزستورات، وكذلك لاستبدال المكونات غير الفعالة كالمقاومات والمكثفات، عندما يستعمل المزيج المكون من الأفلام الرقيقة والثخينة في وصل المكونات الفعالة المنفصلة تدعى المنظومة الكلية بالدارة الصغرية الهجينة (hybrid microcircuit). تطورت مبادئ بناء الدارات الصغرية من خلال التقنيات التي استخدمت أثناء الحرب العالمية الثانية لتخفيض حجم ووزن الدارات الإلكترونية، وكانت تستخدم مقاومات كربونية مطبوعة على أرضيات سيراميكية. تستخدم الدارات الهجينة ذات الأفلام الثخينة تقنيات طباعة الشاشة (screen printing) من أجل ترسيب أشكال من المعاجين الموصلة على الأرضيات السيراميكية. تناسب هذه التقنية الدارات البسيطة نوعاً ما، حيث يمكن مضاعفتها بكميات كبيرة كما هو معمول به في المقاسم الهاتفية على سبيل المثال. يؤدي الحرق بالنار عند درجات الحرارة العالية إلى إذابة المعاجين فوق الأرضيات مما يسمح بتشكيل عناصر الدارة بسماكات تقل عن 0.025mm. ومع ذلك تعادل السماكة المتبقية للفلم تلك السماكات المستخدمة في تقنيات الطباعة الرقيقة. يمكن استخدام أرضيات من مواد أخرى متوفرة وتتطور باطراد، منها أكسيد الألمنيوم النقي جداً على سبيل المثال، ويشترط لهذه المواد أن تكون مواد عازلة ومسطحة وغير تفاعلية، ومستقرة حرارياً.

يمكن بناء الدارات الهجينة متعددة الطبقات من طبقات مسالك الموصلات المفصولة عن بعضها البعض بواسطة طبقات عازلة مصقولة ومرتبطة مع بعضها بواسطة ثقوب خاصة تسمى (Vias).

يتم وصل عناصر دارة ما باللحام عن طريق إضافة مادة اللحام على المنصة الناقلة في الأرضية، والتي تتوضع فيها أرجل العنصر قبل إحمائه استعداداً لإتمام اللحام، وتحتوي مادة اللحام على مصهور اللحام الذي يطبع من خلال غربال واسع

التشبيك. يمكننا ربط العناصر بمختلف أنواعها مع الدارات الهجينة باستخدام الطريقة السابقة. هذه العناصر تشمل شرائح أنصاف النواقل المغلقة وفق طرق تعليب مختلف بالإضافة إلى المكثفات والتي تتراوح قياساتها ما بين 1.25 mm×1mm إلى 6mm×5mm وقيمها ما بين 1PF حتى 1μF.

تكون جميع أنواع عناصر الدارات الصغرية ذات الفلم الرقيق، من الزجاج أو 99.6% من أكسيد الألمنيوم النقي. تتطلب عملية إنهاء السطوح أن يكون السطح ناعماً جداً بحيث يسمح بعزل الطبقة المعدنية الموصلة الرقيقة. بشكل نموذجي، يجب ألا يتجاوز عرض خطوط المقاومة 10μm والخطوط الموصولة 50μm. يتم تصميم الدارة الكهربائية وفق مقياس تكبير يتم تخفيضه فيما بعد بطرق فوتوغرافية. يُحجب الضوء عن الطبقة الرقيقة المصنعة من مادة حساسة للضوء بينما يعرض السطح الحاوي على التفاصيل للضوء. يسمى هذا الفلم بالمقاوم الضوئي. بعد ذلك وعند انكماش الفلم المعدني باتجاه المساحات الداخلية غير المحمية بالمقاوم الضوئي نحصل على الدارة المطلوبة.

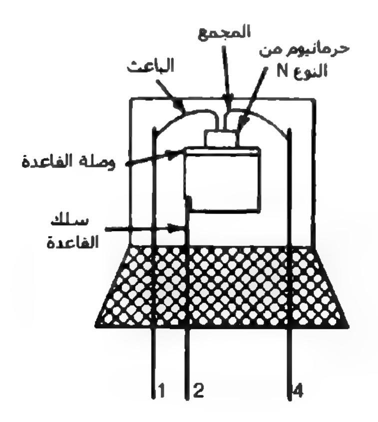
تُنتج دارات الأفلام الرقيقة في قوالب ذات أرضيات زجاجية، وبذلك يمكن استخدام أقراص تجليخ حجارة الماس، ومن ثم تجمع الدارات المستقلة باستخدام طرقٍ مشابهة لتلك المستخدمة من أجل الأفلام الثخينة والتي توضع عند تجميعها عادةً ضمن حزم مغلقة بإحكام لحمايتها.

العناصر نصف الناقلة

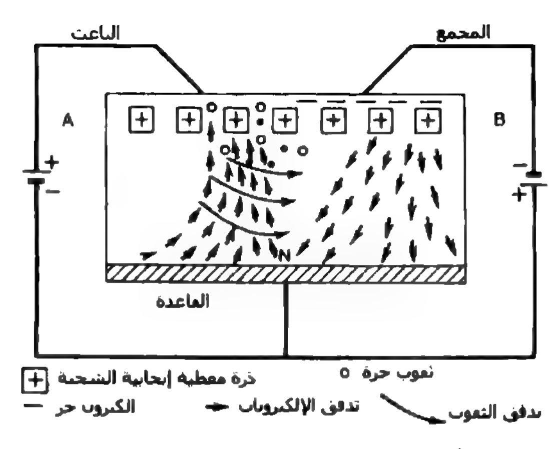
الترانزستورات: كان الترانزستور من أوائل العناصر نصف الناقلة التي استخدمت تجارياً. اكتشف المهندس الألماني براون Brawn في عام 1870 بأن تياراً كهربائياً حراً يمر وباتجاه واحد فقط عندما يحدث تماس بين سلك وبلورات معينة. كان التطبيق الأول لاكتشاف براون هذا ما دعي بشارب القطة "Cat's whisker" الذي استُعمل في أجهزة استقبال الراديو البدائية.

في عام 1947 بينت التجارب التي أجريت في مختبرات بل (Bell) للهاتف في الولايات المتحدة الأمريكية بأنه إذا تم إحضار سلكين متماسين مع بعض البلورات، فإنه سيمر تياراً صغيراً من أحد الأسلاك إلى البلورة ويمكن التحكم بتدفق التيار

الكبير المار بالسلك الآخر. كان هذا أول مضخم ترانزستوري طور فيما بعد ليصبح على المستوى التجاري ترانزستور التلامس النقطي (Point-contact transistor) حيث استخدمت فيه بلورة من النوع n من مادة الجرمانيوم. هذا العنصر مبين في الشكل (4.1) ويبين الشكل (4.2) موجزاً لمبدأ العمل.



الشكل (4.1) ترانزستور التلامس النقطي من الجرمانيوم



الشكل (4.2) مبدأ عمل ترانزستور التلامس النقطي

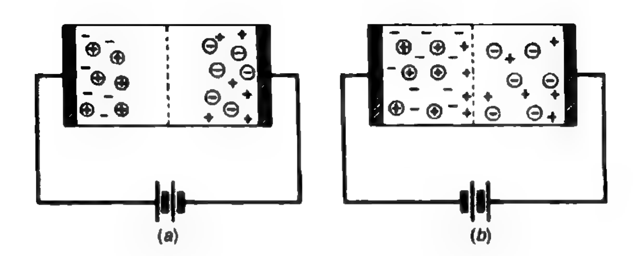
لدى تطبيق جهد موجب بالنسبة لقطب القاعدة على الباعث وانحياز سالب للمجمع، فإن أي تغيير لتيار الباعث عبر تغيير الجهد يسبب تغيراً كبيراً يظهر في دارة المجمع مما يؤدي إلى ظهور أثر تضخيمي، حيث يمكن بهذا الأسلوب الحصول على تضخيم قد يصل إلى 100 ضعف (20 db).

ترانزستور الوصلة: لترانزستور التلامس النقطي في التطبيقات العملية عدد من القيود، لذلك تم اللجوء لتطوير ترانزستور الوصلة. وهو يتكون من جزء رفيع محضر بشكل مناسب من مادة السيليكون من النوع p ، متوضع بين بلورتين كبيرتين من النوع n. يدعى الجزء المركزي بالقاعدة، ويقوم بمهمة التحكم، بينما الجزآن الخارجيان من النوع n فهما الباعث والمجمع على التوالي، وذلك تبعاً للمسار الرئيسي الحالي. يدعى هذا النوع من الترانزستورات بترانزستور (n-p-n). يمكن بالطبع الحصول على ترانزستور تتوسط فيه مادة من النوع n طبقتين من النوع p عندئذ يسمى ترانزستور (p-n-p).

العمل: لفهم مبدأ عمل ترانزستور الوصلة (p-n-p) أو (n-p-n) لا بد من اعتبار الشروط الكائنة على جانبي الوصلة الخاصة (p-n). ففي المواد من النوع n هناك تركيز للإلكترونات المتحركة، بينما في المواد من النوع p هناك تركيز للثقوب المتحركة. بسبب وجود حاجز الجهد عند الوصلة، فمن غير الممكن تحرك الإلكترونات الحرة إلى الجانب من النوع p أو أن تتحرك الثقوب إلى الجانب من النوع n.

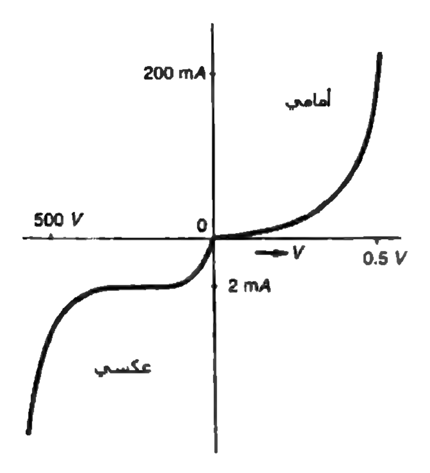
عند تطبيق جهد مستمر على وصلة (p-n) كما هو مبين في الشكل (4.3.a) يطبّق انحياز متزايد على الوصلة يؤدي لتحرك الإلكترونات أو الثقوب الحرة بعيداً عن الوصلة وبالتالي لا يمر التيار خلالها. وعندما يتم عكس التغذية كما في الشكل (4.3.b)، فإن الجهد الخارجي يتغلب على حاجز الجهد الداخلي وتنشأ حركة للإلكترونات والثقوب من المواد الخاصة للوصلة وحول الدارة الخارجية تؤدي لمرور التيار.

تقوم هذه الوصلة بدور المقوم مع ظهور موصلية كهربائية باتجاه واحد فقط، ولكن يجب أن يكون معلوماً بأن تجاوز الجهد العكسي لحدود معينة الشكل (4.4)، يؤدي إلى انهيار حاجز الجهد وبالتالي انهيار جودة التقويم للترانزستور.



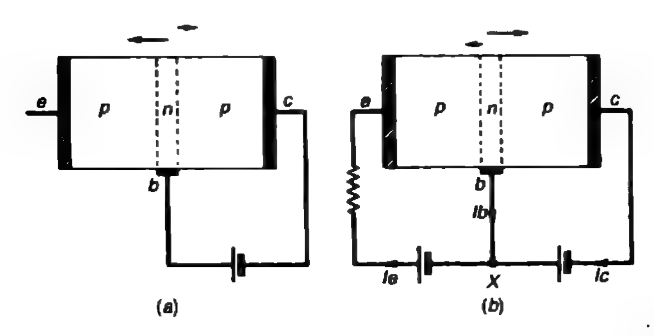
الشكل (4.3) تمثيل تخطيطي لوصلة p-n.
في (a) يتم وصل البطارية بطريقة تزيد من الانحياز
في (b) يتم التخلص من الانحياز عبر عكس وصل البطارية وهي بذلك تساعد على تدفق التيار

يبين الشكل (4.4) المنحني المميز لوصلة الترانزستور، يلاحظ من هذا المنحني، مرور تيار كبير نسبياً من أجل جميع الجهود الصغيرة المطبقة بالاتجاه المباشر (الأمامي)، ومن ناحية ثانية، لدى تطبيق جهد عكسي كبير، فإنه سيمر تيار صغير حتى بلوغ نقطة الانهيار. إذاً، لضمان عمل الترانزستور بشكل سليم، يجب عدم وضعه في الدارات التي يتجاوز الجهد فيها حد الانهيار.



الشكل (4.4) المنحني المميز لوصلة الترانرستور. لاحظ اختلاف المقياس للجهد

نظرية العمل: يظهر الشكل (4.5) البنية التخطيطية لترانزستور الوصلة (p-n-p)، حيث تشير الحروف e و b و c إلى الباعث والقاعدة والمجمع على التوالي. تم تكوين وصلتي (p-n) في الترانزستور وعبر كل منها حاجز للجهد كما تطرقنا لذلك سابقاً. تشير الأسهم في هذا المخطط لاتجاه الحقول الكهربائية عبر الوصلتين واتجاهات الشحنات الموجبة المتحركة تحت تأثير الحقل الكهربائي. لدى تطبيق جهد مستمر كما هو مبين في الشكل (4.5.a)، تنحاز الوصلة (p-n) في الجهة اليمنى إلى الاتجاه العكسي أو الاتجاه غير الموصل، حيث يشير طول الأسهم لمقاومة الحقول الكهربائية في الوصلات. في ظل هذه الظروف، يكون تيار المجمع صغيراً جداً، ويعادل بضعة µA فقط للترانزستورات الجيدة.



الشكل (4.5) ترانزستور الوصلة p-n-p. تشير أطوال الأسهم إلى مقاومة الحقول عند الوصلات وكذلك إلى اتجاه عملها

لدى تطبيق الجهد كما هو مبين في الشكل (4.5.b)، سيحدث توافق بين اتجاه الحقل عبر الحاجز واتجاه الموصلية أو بالاتجاه الأمامي وهو منخفض. وبالتالي من السهل نسبياً تحرك الثقوب والإلكترونات عبر الحاجز. غير أن مادة الترانزستور هي من المواد التي تتركز فيها الثقوب في المنطقة p بشكل كبير، وبعض الإلكترونات في المنطقة n ولهذا فإن التيار المار سيتكون بمعظمه تقريباً من الثقوب، وعندئذ يقال بأن الباعث حقن الثقوب في المنطقة n.

تتحرك الثقوب عبر وصلة الباعث-القاعدة ذات العرض 0.005 mm تقريباً في المنطقة n لتحد نفسها قرب وصلة القاعدة-المجمع، حيث يقوم الحقل من خلالها بقيادة الثقوب باتجاه المجمع. وبهذا يؤدي أثر تطبيق الجهد على الباعث إلى زيادة تيار المجمع بما يعادل تيار الباعث على وجه التقريب. أما زيادة جهد الباعث فتقود لزيادة تيار الباعث والمجمع، حيث يمكن أن يكون تيار الباعث عدة ميلي أمبيرات، وبالتالي فإن تيار المجمع يكون أكبر بكثير من تيار المجمع الصغير الذي يمر عند انعدام تيار الباعث. يشابه نمط ترانزستور الوصلة (n-p-n) النمط المار آنفاً باستثناء أن الجهود المطبقة تكون معكوسة والدور الذي لعبته الثقوب في الوصلة PnP تلعبه الآن عبر الإلكترونات.

ترانزستورات التأثير الحقلي: تقسم ترانزستورات التأثير الحقلي (FET) إلى مجموعتين رئيسيتين هما ترانزستورات الوصلة وترانزستورات البوابة المعزولة. بشكل أساسي فإن وصلة (FET) عبارة عن شريحة سيليكونية يتم التحكم في موصليتها من خلال حقل كهربائي ناتج عن وصلة (p-n) بانحياز عكسي يؤثر بشكل عمودي على مسار التيار. نظراً لأهمية هذا الحقل المستعرض، تمت تسمية هذا النوع بترانزستور الأثر الحقلي.

من الفوارق الرئيسية بين وصلة (FET) والترانزستور التقليدي كون التيار الناتج يتولد من خلال نوع واحد من الحوامل (الحوامل الأكثرية) بينما في الترانزستور التقليدي يتولد التيار بفضل الحوامل الأكثرية والأقلية على حد سواء. يدعى أحياناً (FET) بترانزستور أحادي القطب، بينما يدعى الترانزستور التقليدي بترانزستور ثنائي القطب. وهناك فارق هام آخر هو ارتفاع ممانعة دخل (FET)، بينما تكون للترانزستورات التقليدية ذات ممانعة دخل منخفضة، ولهذا السبب تعمل وصلات (FET) بالجهد بينما تعمل وصلات الترانزستورات ثنائية القطب بالتيار.

تستخدم بوابات (FET) المعزولة بنية الشطيرة التي تتكون من سطح سيليكوني ناقل على اتصال مع طبقة عازلة من أكسيد معدني وطبقة أخرى من مادة نصف ناقلة. تسمى مثل هذه العناصر بترانزستورات FET ذات الأوكسيد المعدني (MOSFET) حيث تمثل الطبقة المعدنية قطب التحكم أو البوابة. تتيح طبقة الأكسيد المعدني

للحقل الناجم عن البوابة، التحكم بعمل المادة نصف الناقلة بينما تمنع مرور أي تيار مستمر من البوابة إلى الأقطاب الأخرى.

أنصاف النواقل الطاقوية

يتيح وصف عناصر الترانزستور أعلاه إمكانية فهم مبادئ عملها، على أية حال كما ذكرنا سابقاً، فإنه يفضل استخدام العناصر نصف الناقلة المنفصلة في الوقت الراهن في تضخيم الاستطاعة. لهذا السبب، يتعلق الوصف التالي للعناصر المنفصلة العملية المتواجدة بأنصاف النواقل الطاقوية، والتي تعتبر الثايرستورات من أكثرها أهميةً وأوسعها استخداماً.

إذاً على الرغم من أن أنصاف النواقل الطاقوية تستخدم نفس مبادئ العمل المشروحة سابقاً إلا أنها تعمل في الغالب عمل المفتاح أو المقوم أكثر من عملها كمضخات أو كواشف وهو العمل المعتاد للترانزستورات المستخدمة بكثرة في دارات الإلكترونات الصغرية. تسعى أنصاف النواقل الطاقوية عند استخدامها كمفاتيح كهربائية لتعمل عمل مقاومة لا نهائية في حالة الفصل ومقاومة معدومة (صفرية) في حالة الوصل، والعناصر المثلى هي تلك التي تقترب من تحقيق ذلك. الأهداف الثانوية طبعاً تكمن في تحقيق ما سبق وبشكل دائم من خلال رفع مستويات الطاقة وبتكلفة اقتصادية، وبأقل قدر من الضياعات. يتطلب تحقيق هذه الأهداف توفر عدد من العناصر المختلفة التي يوافق كل منها بين عدد من المعايير، وهي بشكل عام الكلفة التجارية مقابل تقنين الجهد والتيار والضياعات وتردد العمل.

الديودات السيليكونية: تصنع جميع أنصاف النواقل الطاقوية الحديثة تقريباً باستخدام بلورات السيليكون النقية. يستخدم أبسط هذه العناصر وصلة مفردة من النوع n أو من النوع p والذي يقوم بالتقويم وفق الآلية التي تم عرضها سابقاً. تتوفر الديودات السيليكونية أحادية العنصر بمعدلات جهد تصل حتى 6 kV ومعدل تيار وسطي يتجاوز 5 kA.

نظرياً يكون هبوط الجهد الأمامي لأضخم الديودات السيليكونية هو 1.1 V من أجل تيار 3 kA، ويكون تيار التسرب العكسي أقل من 100 mA من أجل جهد 5 kV. يمكن تحقيق هذا المستوى المتدني لهبوط الجهد الأمامي بواسطة إشابة السيليكون بشكل منتظم بحيث يتم التحكم بحمل التيارات خلال المادة لتقدم آلية عمل تسمى تعديل الشحنة (charge modulation). يؤدي الانخفاض الكبير للجهد الأمامي وتيار التسرب العكسي إلى ضياع منخفض جداً للطاقة يبدد ضمن هذا العنصر، بالمقارنة مع الطاقة المقومة أو الخاضعة للتحكم، والفعالية العالية لهذا النوع من الديودات. يتم تغليف هذا النوع من الديودات بحيث يمكن تبريدها من الجانبين.

الترانزستورات الطاقوية ثنائية الأقطاب: تقريباً، تكون كافة ترانزستورات الطاقة ثنائية الوصلة من النوع (n-p-n) التي تعتمد على تشكيلة من جرعات السيليكون والتي تسمح بحدوث عمليات تعديل الشحنة تؤدي بدورها إلى الحصول على جهد أمامي منخفض جداً. يعمل الترانزستور الطاقوي ثنائي الأقطاب كمفتاح كهربائي بشكل أساسي، حيث يعمل في حالة الفصل الكامل off أو الوصل الكامل on، ويتم التحكم بهاتين الوضعيتين للترانزستور عبر انحياز الجهد المطبق على القاعدة. في حالة الفصل off تُحجز القاعدة عند انحياز صفري أو سلبي بغية تصغير تيار تسرب المجمع. إن المعدلات النموذجية للتيارات المستمرة وصلت في الوقت الراهن إلى 1000 A مع ذروة قد تصل إلى 1200 A وجهود دعم المجمع والباعث تقارب 1 kV.

ترانزستور دارلينغتون Darligton الطاقوي ثنائي الأقطاب: وهو عبارة عن شريحة مفردة مشتقة من الترانزستور الطاقوي ثنائي الأقطاب (n-p-n) الموصوف أعلاه والذي طور بشكل خاص لتأمين قيم ربح عالية.

الثايرستورات: يشمل مصطلح الثايرستور (Thyristor) مجموعة كبيرة ومهمة من أنصاف النواقل، لذلك من المفيد الخوض بتفصيل أكبر في طريقة عمله الأساسية. يعرف الثايرستور الأساسي باسم المقوم السيليكوني المتحكم به (SCR)، وهو أقدم أنصاف النواقل الطاقوية، وما زال الأكثر استعمالاً في تطبيقات الجهود المتوسطة.

يبين الشكل (4.6) بنية الثايرستور، وكما هو واضح فهو عبارة عن عنصر مكون من أربع طبقات سيليكونية (p-n-p-n) تعمل كمقوم خاضع للتحكم. تتخذ هذه البنية مظهراً أفضل عندما تتكون من عنصري ترانزستور (p-n-p) و (n-p-n) مرتبطين بحيث يشكلان زوج تغذية عكسية متولدة. كما هو واضح من الشكل (4.6) فإن ربح تيار حلقة التغذية العكسية الداخلية G هو $h_{fe1} \times h_{fe2}$ حيث يمثل h_{fe2} ، h_{fe2} ربح تيار الباعث العام للجزأين المستقلين.

إدا كان I_{co1} تيار التسرب من المجمع إلى القاعدة للجزء (n-p-n) و I_{co2} تيار التسرب من المجمع إلى القاعدة للجزء (p-n-p) فيكون:

للجزء (p-n-p):

$$I_{c1} = h_{fe1}(I_{c2} + I_{co1}) + I_{co1}$$

للجزء (n-p-n):

$$I_{c2} = h_{fe2}(I_{c1} + I_{co2}) + I_{co2}$$

ويكون التيار الكلي من المصعد إلى المهبط:

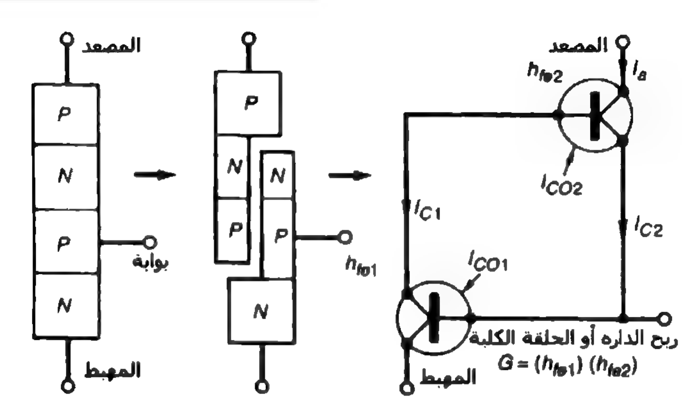
$$I_a = (I_{c1} + I_{c2})$$

ومنه:

$$I_a = \frac{(1 + h_{fe1})(1 + h_{fe2})(I_{co1} + I_{co2})}{1 - (h_{fe1})(h_{fe2})}$$

عند تطبيق انحياز مناسب، أي جهد مصعد إلى مهبط موجب، يقال عندئذ بأن البنية ذات حجز أمامي أو في حالة ممانعة عالية "off" فصل. تبدأ حالة وصل المفتاح الكهربائي لممانعة دنيا "on" ببساطة برفع ربح الحلقة G إلى القيمة المناسبة. عند حدوث ذلك تبدأ الدارة بالتوليد ويقود كل ترانزستور شريكه إلى الإشباع.

تصبح جميع الوصلات التي يفترض أن تكون في وضع الانحياز الأمامي في حالة إشباع، ويكون هبوط الجهد الكلي عبر العنصر معادلا تقريباً لهبوط جهد الوصلة المفردة وبالتالي يتحدد تيار المصعد بالدارة الخارجية فقط.



الشكل (4.6) عنصرا ترانزستور يمثلا الثايرستور

لإيقاف عمل الثايرستور في زمن أصغري، من الضروري تطبيق جهد عكسي. في ظل هذا الشرط تكون الثقوب والإلكترونات مجاورة لنهايتي الوصلات وتنتشر في الوصلات وينتج عن ذلك تيار عكسي في الدارة الخارجية. يبقى الجهد عبر الثايرستور عند قيم بحدود 0.7 V موجب طالما استمر مرور لتيار عكسي ملموس. وبعد إزالة جميع الثقوب والإلكترونات من المنطقة المجاورة لنهايتي الوصلات يتوقف مرور التيار العكسي وتعتبر الوصلة بأنها في حالة حجز. زمن الفصل من رتبة 10-15 µs عادةً. والفارق الأساسي بين الترانزستور والثايرستور هو أنه في الترانزستور يمكن إيقاف الناقلية الكهربائية في أية نقطة من الدارة نتيجة انخفاض ربح التيار إلى ما دون الواحد، بينما في الثايرستور فإن هذه الناقلية تتوقف فقط عند انعدام التيار.

عناصر طاقوية أخرى

تم تطوير عائلة ضخمة من العناصر ثنائية الوصلة (الترانزستورات) والعناصر ثلاثية الوصلة (الثايرستورات) ولا يزال هذا التطور مستمراً لتحقيق متطلبات محددة،

وهي عادةً بجهود أو تيارات مرتفعة وضياعات منخفضة وتحويل أسرع. وفيما يلي استعراض سريع لأبرز هذه الأنواع وأكثرها أهمية:

الثايرستورات

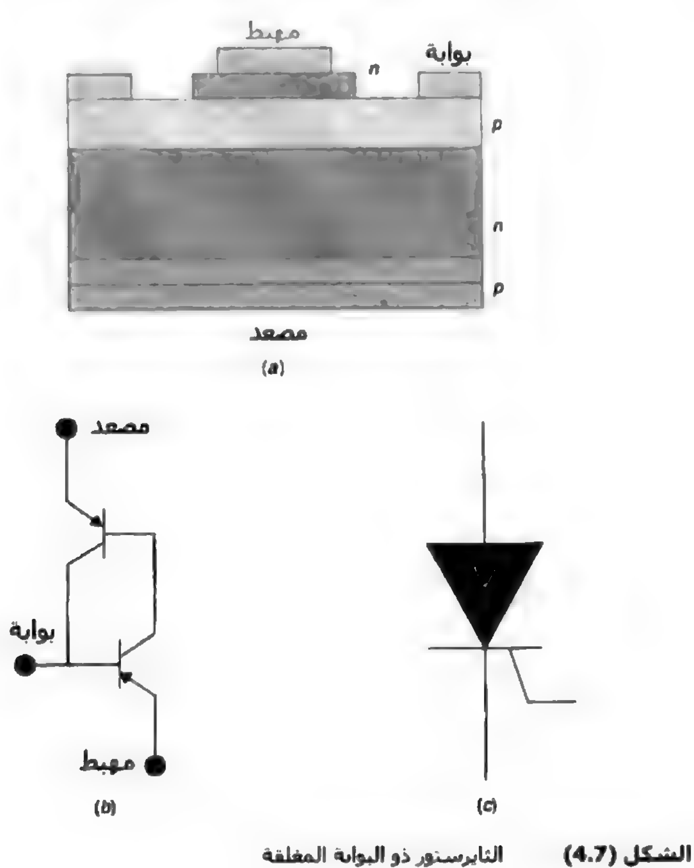
الثايرستور ذو البوابة المغلقة (GTO): وهو مشابه من حيث المبدأ للثايرستور التقليدي كما هو مبين في الشكل (4.7). فهو عنصر له ثلاث نهايات تعتمد على دارات معقدة مخمدة وبوابية للتحكم بالتبديلات العابرة. يقع ربح الإغلاق النموذجي بين 4 و 5، ويكون جهد الحجز الأعظم من مرتبة 6 kV مع معدل تيار بحدود 4 kA (معدل تيار المصعد يزيد عن 2 kA)، أما تردد التحويل فيكون أقل من 1 kHz بشكل نموذجي.

ثايرستور دارة الموحد التكاملي IGCT: وهو شكل متطور عن (GTO) يهدف للوصول إلى أداء تحويل أفضل مع التوجه نحو تبسيط دارات التخميد. يتم تركيب بوابة التحكم بشكل مشابه جداً من (GTO)، ويمكن تحقيق فعل التحويل عبر استخدام نبضة كبيرة لتيار البوابة، وهو ذو ربح إغلاق واحدي وجهد حجز أعظمي من مرتبة 5.5 kV مع معدل ذرى تيار 1.8 kA (1.2 kA للقيم المنتجة)، حالياً تعمل ثايروستورات (IGCT) العملية عند ترددات تصل إلى 500 Hz.

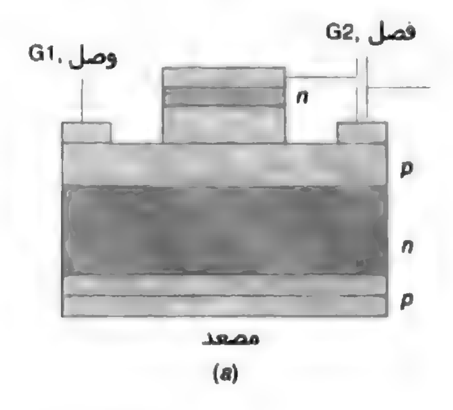
ثايرستور أكسيد المعدن ذو الإغلاق السيليكوني (MTO): برز هذا العنصر لتحقيق نفس إمكانيات تداول الطاقة كما في العناصر السابقة مع حد أدنى من الضياعات أثناء التبديل وتحكم أبسط للبوابة، انظر الشكل (4.8). ما زال هذا الثايرستور قيد التطوير، ويبدو بأنه سيكون واعداً. تسمح بوابة الإغلاق الصغيرة بالمحافظة على الكلفة وبتحسين الوثوقية بالمقارنة مع عناصر (GTO) و (IGCT) كما أن بنيته ملائمة للتبريد المضاعف.

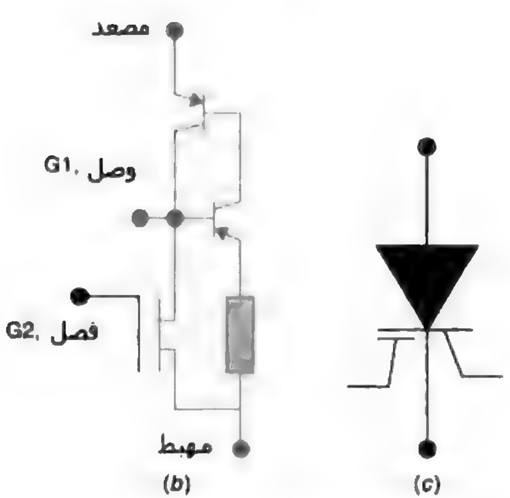
الترانزستور ثنائي الأقطاب ذو البوابة المعزولة (IGBT): لهذا الترانزستور ضياعات موصلية دنيا لوصلة ثنائية الأقطاب، وله سرعة تبديل الترانزستور (MOSFET)، انظر الشكل (4.9). فهو مقاد بالجهد ويناسب عملاً أقل تخميداً. تمتلك الترانزستورات عالية الجهد هذه معامل درجة حرارة موجب للمقاومة في حالة الوصل، وهذا ما يجعلها

قابلة للوصل على التفرع. ولهذا فإن الشريحة الأساسية يمكن أن تكون من رتبة 50 أو 75 أو 100 A ويمكن الوصول إلى معدلات تيار أعلى عن طريق وصل شرائح IGBT على التفرع ضمن مجموعة وحيدة.

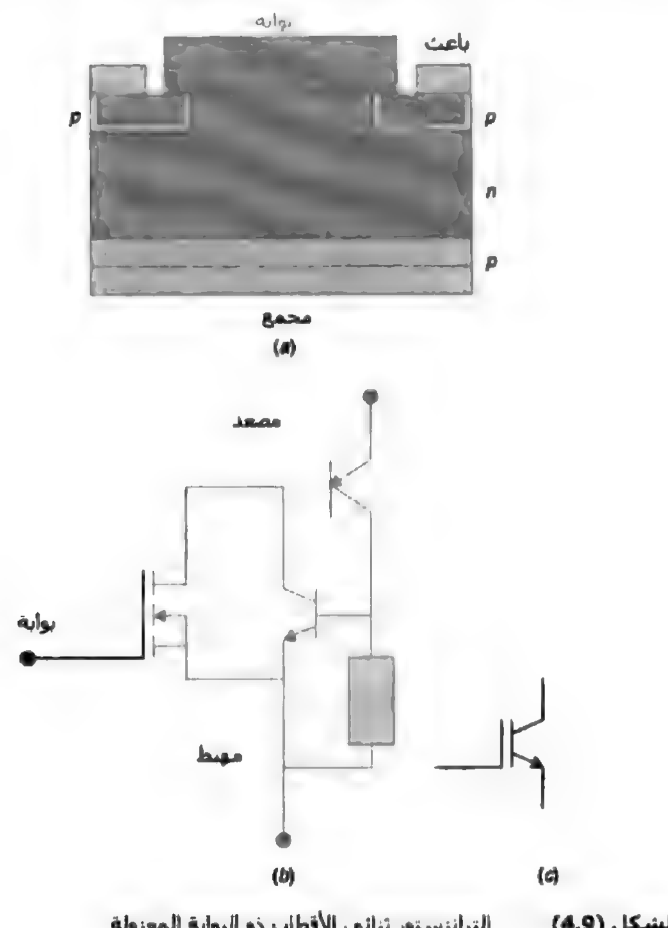


الشكل (4.7) التايرستور ذو البوابة المغلقة





السكل (4.8) ثايرستور أكسيد المعدن ذو الإغلاق السيليكوني

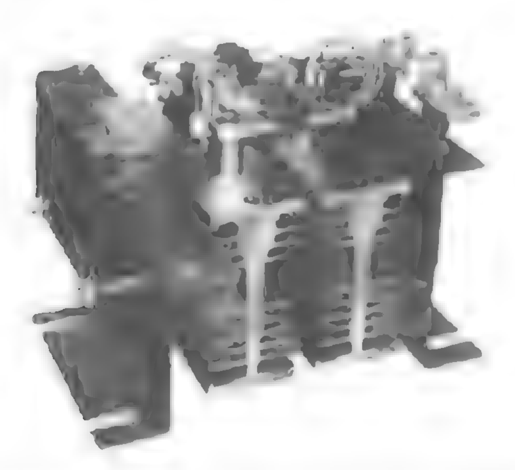


الشكل (4.9) الترانزستور ثنائي الأقطاب ذو البوابة المعزولة

إذا ما قورن (IGBT) مع العناصر الأخرى فسنجد بأنه ذو هبوط جهد أمامي أعلى، ولكن ضياعات التحويل الكهربائي منخفضة بالمقارنة مع عناصر (GTO). قدمت تقنيات (IGBT) الحديثة عناصر ذات تكلفة متدنية وموثوقية عالية بحيث وصلت القيم المنتجة إلى 3.3 kV و 1200 A. تتم الحماية من حالة القصر عن طريق تحكم

بسيط بالبوابة. عند قصر الدارة، فإن تيار (IGBT) يكون محدود أصلاً عن طريق خصائصه ويمكن أن يتخفض عبر اختزال الجهد المطبق على وصلة القاعدة - الباعث قبل الإغلاق. إن متطلبات طاقة التحكم بالبوابة منخفضة جداً وهي أقل من 1 W من أجل عنصر 3.3 kA، 1.2 kV يعمل بتردد 2kHz. أما عمليات الفصل والوصل عند الترددات الأعلى فهي تؤدي إلى وجود عدد أقل من التوافقيات في موجة الخرج للعنصر بالإضافة إلى ضياعات أقل في المنظومة التي يتم التحكم بها ومتطلبات ترشيح أقل وانخفاض في مستوى الضجيج الصوتي. يمكن ربط العناصر الطاقوية على التسلسل للحصول على مفتاح كهربائي بجهد عزل كبير. حالياً يقود الاستثمار المتنامي لعناصر (IGBT) من قبل جميع مصنعي أنصاف النواقل باتجاه تخفيض كلفتها.

التبريد: يجب أن تبدد ثايرستورات الطاقة العالية الضياعات ضمن حجم صغير، وهذا يعني أن إنتاجها صناعياً يقوم غالباً على تصريف الحرارة للخارج، ولذلك يتم عادةً تركيب الثايرستورات على مصبوبات من خلائط الألمنيوم تؤدي دور المبددات الحرارية. انظر الشكل (4.10). من أجل التجهيزات ذات الطاقة العالية جداً، يمكن أن يرافق التبريد الطبيعي وسائط سحب قسرية (مراوح تبريد).



الشكل (4.10) قاعدة تجميعية للثايرستورات تظهر منظومات المبددات الحرارية

تطبيقات أنصاف النواقل الطاقوية

تستخدم الديودات بشكل رئيسي كمزودات تيار مستمر لخطوط عملية التحليل الكهربائي، لجر المحطات الفرعية، وللأغراض الصناعية العامة. في البداية، تم استعمال الثايرستورات كمبدلات (converters) متحكم بها طورياً تنتج تيارات تغذية مستمرة ومتغيرة تستخدم لقيادة المحركات والمولدات العنفية، وتهييج المولدات المائية، أفران قوس تفريغ الهواء والعمليات الكهروكيميائية وشحن البطاريات،...الخ.

ما تزال هذه التطبيقات هي التطبيقات الرئيسية، غير أن استعمالات الثايرستورات والترانزستورات الطاقوية بدأت تنمو في أنماط التقطيع الحديثة كما هي الحالة في مقطعات التيار المستمر، أو في المبدلات لإنتاج تيارات متناوبة بترددات ثابتة أو متغيرة. وفيما يلي بعض الاستعمالات الأخرى للثيرستورات.

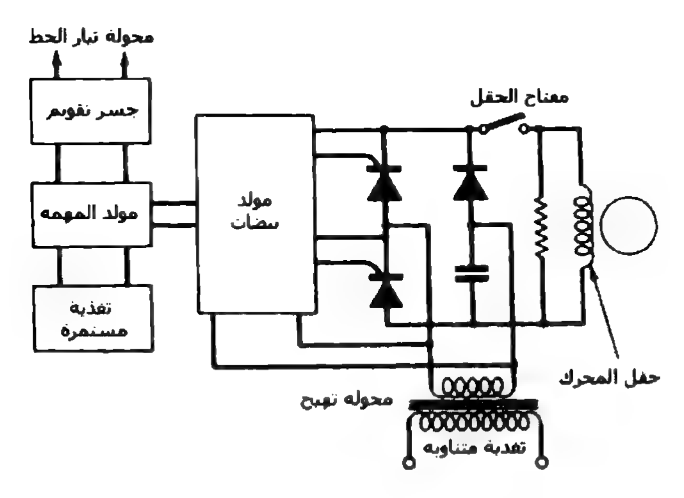
تهييج المحركات المتزامنة: تمتاز مواصفات معظم المحركات المتزامنة بوجوب قدرتها على تحمل التطبيق المتدرج السريع (الخاطف) لعزم تحميل زائد دون فقدان التزامن. تم التطرق لهذه المسألة في المواصفات BS 2613 حيث تمت مراجعتها عام 1978 وحل محلها BS 5000 الجزء 99. ولا تحوي المواصفة الأخيرة على قسم شبيه يعالج هذه المسألة.

تم تأمين متطلبات التحميل الزائد للعزم سابقاً عن طريق استخدام إطار كبير ذي حجم أكبر من الحجم اللازم لتأمين متطلبات كامل حمل العزم، وكان العزم متناسب مع جداء تغذية التيار المستمر وحقل التيار المستمر الناتج عن تيار التهييج. يمكن استخدام إطار ذي حجم أصغر عن طريق التحكم بتيار التهييج لمعدل طاقة معطى عن طريق الثايرستور، والإعداد لدفع التهييج بواسطة أداة تحكم لتجنب فقد التزامن عند شروط حمل العزم الزائد.

يمكن التحكم بتيار تهييج محرك متزامن عبر تغذية ملفات حقل المحرك من خلال جسر ثايرستور ستاتيكي، يستخدم تيار تغذية المحرك للتحكم بزاوية الإقلاع. الشكل (4.11)، يقوم مولد نبضات بتغيير زاوية إقلاع الثايرستور بما يتناسب طردا مع إشارة التحكم بالتيار المستمر والقادمة من مولد خاص يسمى Diode function generator،

والذي تتيح عناصره المتغيرة إمكانية الحصول على تقريب مقبول للميزات التعويضية الموجودة في مجال واسع.

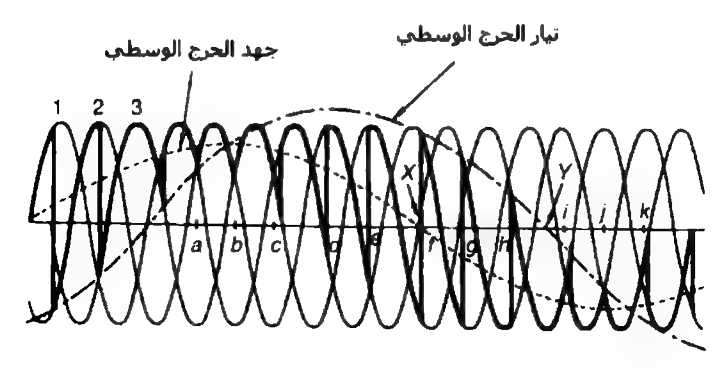
عندما يعمل المحرك بشكل متزامن، أي عند الإقلاع، تتحرض قوة محركة كهربائية كبيرة في حقل اللف، ويجب أن يكون الجهد الناتج والظاهر عبر الجسر محدداً لمنع انهيار عناصر الجسر. وهذا ما يحققه استخدام مقاومة تفرع يتم وصلها كما هو مبين في الشكل، حيث يجب تحقيق أكبر عدد ممكن من المتطلبات الصارمة. يمكن تطبيق تغذية عكسية بالتيار للتخلص من الآثار اللاخطية لمولد النبضات، ولجسر التقويم، وهذا سيؤدي إلى تحسين استجابة المنظومة أمام التغيرات المفاجئة للحمل. يمكن أن يكون التزامن آلياً بدون ريليات عن طريق ضم دارة حساسة للتردد ومترلقة تحكم بالبوابة تؤمن إشارة التحكم بمولد النبضات.



الشكل (4.11) دارة تهييج معوضة بسيطة

التغذية بتردد متغير: يمكن استخدام محول الترددات للتحكم بسرعة المحرك التحريضي، ومحول الترددات (cycloconverter) عبارة عن أداة تقويم تم تطويرها للمرة الأولى في

عام 1930، غير أن تحسين المميزات التحكمية للثايرستورات وتقنيات الدارات الأفضل، مكنت من الحصول على تردد خرج متغير باستمرار. يوضح الشكل (4.12) طريقة تحويل لخرج بتردد 15 Hz من تغذية 50 Hz. عند بدء حلقات الوصل عند النقطة (a) يصل جهد الخرج إلى قيمته العظمى، وذلك لعدم وجود تأخير في الإقلاع، وعند النقطة (b) يتم التبديل من الطور الثاني إلى الطور الثالث مع تأخير طفيف، مما يؤدي إلى حدوث تأخير عند النقطة (c).

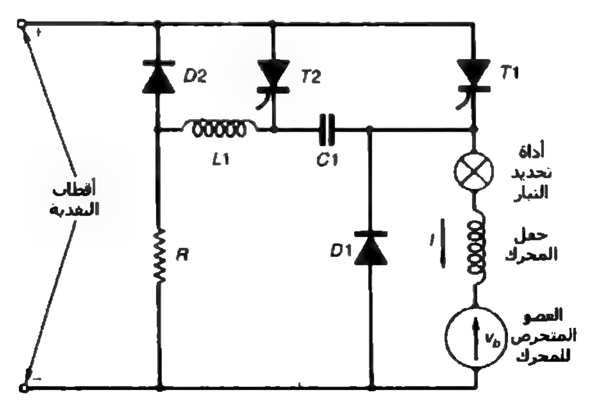


الشكل (4.12) تركيب 15Hz من 50Hz (عامل استطاعة الحمل 0.6 متأخر)

يكون زمن تأخير الإقلاع (e) بحيث يكون جهد الخرج الوسطي هو المحتمل فقط، يتأخر في المخطط عامل استطاعة لحمل منخفض التردد بمقدار 6.0 ومع ذلك يقطع جهد الحمل الوسطي المحور عند (X) ويبقى التيار موجباً لغاية (Y)، يلي ذلك وصل المقومات عند اللحظات (f) و (g) و (h) لتعطي تيار حمل موجب وجهد سالب وبذلك يتم التبديل.

انطلاقاً من (i) تسلك المنظومة سلوك مقوم خاضع للتحكم باستخدام المجموعة السالبة من الثايرستورات (d) و (e) و(f) حتى يصبح جهد الخرج الوسطي موجباً عند بدء فترة التبديل الجديدة.

مقطع D.C للتحكم بمحرك D.C: يبين الشكل (4.13) الدارة الأساسية، حيث تطبق تغذية المحرك عبر القدح (T1)، وعند التوقف التام، تتزايد قيمة التيار بشكل سريع إلى قيمة متحكم فيها بواسطة مقاومة الدارة، وعند مستوى متحكم فيه عن طريق تحريض المحرك. بعد قطع التيار لفترة زمنية معينة، يحافظ (T1) على تدفق التيار في المحرك عن طريق الديود (D1) من خلال الطاقة التحريضية للمنظومة.



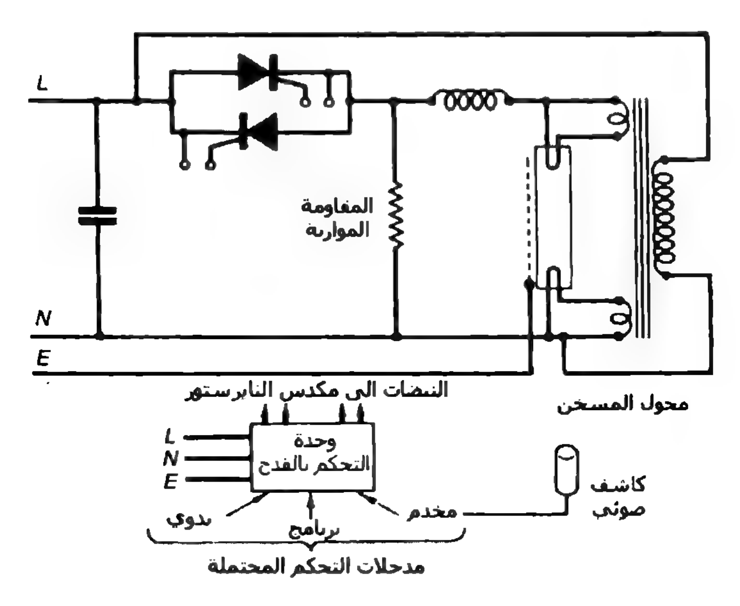
الشكل (4.13) الدارة الأساسية

عندما يتضاءل هذا التيار إلى سوية معينة، يقدح (T1) مرة أخرى للمحافظة على ثبات تيار المحرك وتؤمن أداة تحديد التيار إشارة تحكم تقوم بتغيير أطوال الفترات الزمنية، يكون (T1) في حالة فصل أو وصل. تم وصل مكونات الدارة T2, C1, L, R, D2 في الشكل (4.13) بغرض إغلاق T1.

التحكم بمجموعات إنارة النيون: يمكننا تخفيض شدة إنارة النيون عن طريق الثايرستورات والدارة التي تقوم بهذا العمل مبينة في الشكل (4.14). من الضروري وجود محولة مستقلة للمحافظة على تيارات التسخين المسبق الثابت للأقطاب بغض النظر عن موقع مخمد الضوء (dimmer)، وإن ذلك يتطلب استخدام منظومة توزيع رباعية الأسلاك. يتأثر التحكم بالتغيرات الطفيفة لزاوية قدح الثايرستور.

وسائط التأين الحراري

كما أشرنا في بداية هذا الفصل، فإن العديد من المهام التي تؤديها أنصاف النواقل حالياً، كانت تنفذ عبر وسائط التأين الحراري في البدايات المبكرة للإلكترونيات، هذه الوسائط التي ينجز عملها عن طريق التحكم بتدفق الإلكترونات بين قطبين في الفراغ عادةً وفي الغازات أحياناً.



الشكل (4.14) دارة التحكم بمصباح الفلوريسانت بما فيها إمكانية خفض شدة الإضاءة

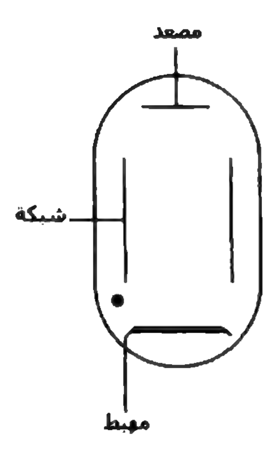
قد يكون التحكم عبارة عن عملية فصل/وصل، وذلك اعتماداً على قطبية الجهد المطبق، أو قد يكون تحكم تعديل عن طريق تأثير الجهد المطبق على القطب أو الأقطاب الإضافية. تتم تغذية الإلكترونات عن طريق مهبط Cathode مطلي بمادة يمكنها إصدار الإلكترونات بحرية لدى تسخينها، فقد كان يتم تسخين المهبط بشكل غير مباشر عادةً بواسطة عناصر تسخين ذات جهد منخفض، وهذا ما

أعطي تلك الوسائط الاسم التخصصي "صمامات التأين الحراري"، انطلاقاً من سماحها بتنظيم التيار المار في الدارة بطريقة مماثلة لتنظيم جريان الموائع في صمامات منظومة أنابيب التمديدات الأرضية.

لا زال البعض من وسائط التأين الحراري مستخدماً في أيامنا الراهنة، حيث تقتصر استخداماته بشكل تقريبي على وسائط الطاقة العالية كالثايروترونات (Thyatrons)، والماغنترونات (Magnetrons)، والكلسترونات (Klystrons)، والإغنترونات (Ignitrons) وهي مستخدمة في شبكات الإرسال والاتصالات وفي الرادار.

الثايروترون الهيدروجيني (hydrogen thyratron): أصبح الثايروترون الهيدروجيني أداة التقطيع الأكثر استخداماً وشيوعاً في معدلات نبضات الرادارات متوسطة وعالية الاستطاعة، وكذلك في بعض التطبيقات الأخرى التي تتطلب نبضات زمنية مضبوطة. استخدمت هذه الوسائط للمرة الأولى في أنظمة الرادار، وما تزال تستخدم حالياً في عدد من الدارات المتنوعة المتعلقة بمسرعات الجزيئات (particle accelerators) ومنظومات تحويل الاستطاعة ذات القدرة العالية. تتضمن أصناف شركة English Electric Valve Co. كل من صمام ثلاثي مملوء بالهيدروجين أو الهيدروجين الثقيل، وثايروترونات رباعية بأغلفة زجاجية أو سيراميك/معدن. كما تتوافر صمامات سيراميك ذات فجوات متعددة للعمل حتى 160 kV.

تتكون جميع الثايروترونات بشكل مبدئي من غلاف مملوء بالغاز، يحتوي على مصعد، شبكة تحكم، ومهبط أيوني حراري، الشكل (4.15). يمكن أن يكون الغاز بخار الزئبق أو الهيدروجين أو أي غاز خامل. يبقى الصمام في حالة عدم الموصلية، وبجهد موجب على المصعد إذا ما طبق جهد سالبي كاف على الشبكة. تعتمد قيمة جهد الشبكة على جهد المصعد وعلى الشكل الهندسي للصمام. عندما تنخفض سلبية جهد الشبكة تنخفض إمكانية الابتعاد عن جهد المصعد الموجب. تلك هي المبادئ الأساسية لعمل الثايروترونات ذات الشبكة السالبة.



الشكل (4.15) بنية ثايروترون ذو شبكة سالبة

يقوم المصعد بإصدار الإلكترونات التي يتم تسريعها عن طريق جهد المصعد بغياب شبكة التحكم، وتصطدم مع ذرات الغاز المتواجدة مما يؤدي إلى ظهور عمود من الغاز المتأين الهيدروجين والهيدروجين الثقيل يظهر عندها جهد منخفض جداً، من رتبة 50-100V لغاز الهيدروجين والهيدروجين الثقيل، عبر التفريغ وعبر هذا الغاز يمكن تمرير مجال واسع من التيارات التي يعتمد مطالها على الدارة الخارجية.

خلال عملية النقل، يتم تغليف الشبكة بالأيونات التي تمنع أي تحكم مستخدم بشكل فعّال، يعود الصمام إلى وضعية الفصل فقط عند إزالة جهد المصعد، أو عكسه لفترة زمنية كافية تسمح بتخفيف كثافة الشحنة إلى قيمة منخفضة، بعدها تستعيد الشبكة التحكم، وعند إعادة تطبيق جهد المصعد فإن الصمام لا يقوم بنقل الكهرباء. إذاً يعمل الصمام كمفتاح إلكتروني عن طريق شحنة موجبة لجهد الشبكة ويفصل فقط عند إزالة أو عكس جهد المصعد.

في بعض التصاميم يتم تثبيت حاجز قرصي بالقرب من مهبط الشبكة، ويؤدي ذلك عادةً إلى تعديل مميزات الصمام، وهكذا يمكن اعتبار كمون الشبكة موجباً بدون موصلية الصمام عند تطبيق جهد المصعد. تدعى هذه الترتيبة "ثايروترون الشبكة الموجبة".

يمكن استخدام الحواجز أيضاً لحماية أقطاب الصمام من ترسب مادة المصعد التي قد تؤدي إلى سوء في الأداء. عملياً، يعني ذلك أنه يجب تطبيق نبضة موجبة لكمون المصعد على الشبكة لبدء تفريغ مهبط الشبكة. حلت الصمامات المملوءة بالهيدروجين محل تلك المملوءة ببخار الزئبق وذلك بسبب الجهد المنخفض المحدود الذي قد ينتج عبر الصمام وهو 30 V تقريباً. حيث يؤدي الجهد المرتفع في صمامات الزئبق الذي يظهر من خلال القذف الموجب للإلكترونات إلى التلف السريع للمهبط.

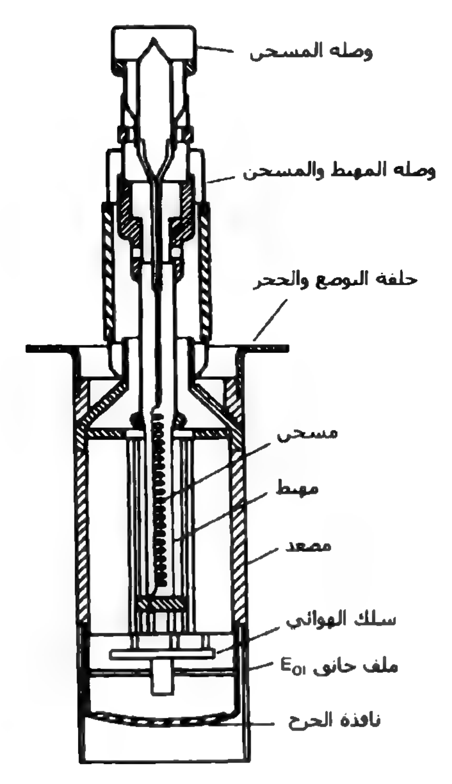
يمكن تركيب غالبية الثايرترونات بأية وضعية، ولكن مع الصمامات الكبيرة، فإن وضعية القاعدة للأسفل هي الأكثر ملائمة عادةً.

عندما يكون تخفيض تغيرات زمن القدح مهماً في دارة الثايرترونات، يمكن استبدال الصمام الثلاثي بآخر رباعي يملك شبكتين. حيث يمكن قيادة هذه الشبكات بطرق مختلفة. فقد تكون الشبكة الأولى متأينة باستمرار بينما تؤثر الثانية كبوابة لدى قيادتها بنبضة فوق مستوى انحيازها السالب. هناك طريقة أخرى تعتمد على تطبيق نبضات متتابعة على الشبكات مع تأخير مقداره 1μs بين الحواف القائدة للنبضات. الطريقة الثالثة تتم عبر تطبيق نبضات على كل من الشبكتين عن طريق مصدر قدح وحيد مصمم لقيادة كل واحدة منهما بشكل منفصل.

يتغلب الثايروترون متعدد الفجوات على مشاكل تشغيل الثايرترونات الموصولة على التسلسل، فعند القدح تنهار فجواته الواحدة تلو الأخرى في نمط تفريغ الغاز الطبيعي. توفر شركة English Electric Valve ثايروترونات هيدروجينية تعمل بتعديل النبضة، وكذلك توفر صمامات M-O بذروة طاقة حتى 400MW وذروة جهد أمامي 160kV. هذا الصمام هو صمام رباعي ذو أربع فجوات سيراميك/معدن.

الماغنترونات (magnetrons): إن ماغنترون الفجوة (cavity magnetron) هو صمام تأين حراري فعال وصغير الحجم، يستخدم في توليد الأمواج الميكروية كموجات الرادار على سبيل المثال. وهو بالأساس عبارة عن ديود يمكن نسبه إلى عائلة الصمامات المعروفة بتجهيزات الحقل المستعرض. ويتكون عادةً من اجتماع مسخن مركزي ومصعد ومهبط وعنق مغناطيسي كما في الشكل (4.16). يشكل الحقل المغناطيسي زاوية قائمة مع الحقل الكهربائي، وتقوم نبضات الجهد المرتفع بين المهبط الساخن

والمصعد بتوليد دولاب أشعة (spoked-weel) يقوم بحجب الإلكترونات التي تدور بشكل حلزوني حول المهبط تحت تأثير الفعل المتبادل بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي ويتم حجب الإلكترونات فقط عند تواجده في الفراغ. لهذا يصمم المصعد النحاسي بحيث يتكون عدداً من تجاويف الطنين حول قطره الداخلي لدى ملامسة أطراف أشعة السحابة الإلكترونية برفق وبدقة كل أبعاد فجوة الحقل المتفاعلة مع الحقل القائم في الفجوة. يحدث امتصاص للطاقة وينتج الاهتزاز خلال الفجوة حتى حدوث طنين للفجوة، تنطلق الطاقة المتحررة إلى نافذة الخرج وعلى طول الدليل الموجي أو سلك الهوائي.



الشكل (4.16) الماغنترون

تتوفر أنواع من الماغنترونات النبضية لمجال ترددات من 1 حتى 80GHz مع ذروة لطاقة الخرج تمتد من بضعة مئات من الواط وحتى عدة آلاف من الميغاواط والطاقة المتوسطة تقل عن طاقة الذروة بألف مرة تقريباً.

تستخدم الصمامات لعمل الموجة المستمرة وبشكل رئيسي في التسخين، وهي ذات طاقة تنتمي للمجال من 200W وحتى 25kW من أجل الترددات من 0.9GHz وحتى 2.45GHz، أما الأنواع الأقل طاقة فهي تستثمر في عمليات الإرشاد عند تردد يساوي 9GHz تقريبا.

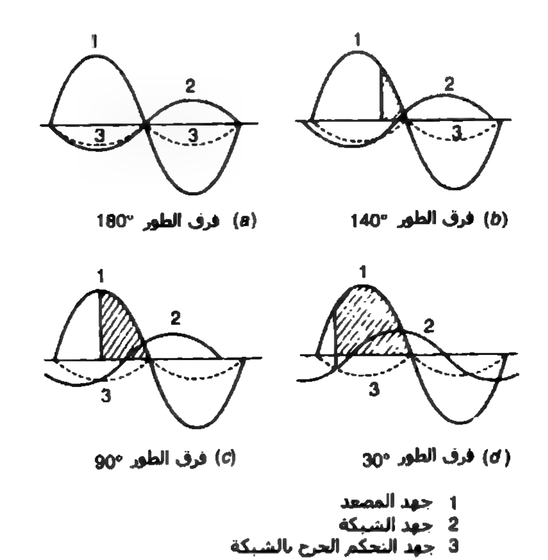
يجب أن تبقى درجة حرارة عمل الماغنترون صحيحة، فإذا كانت منخفضة جداً، فإن الإصدار المختزل سيؤدي إلى تشغيل غير مستقر يمكن أن يسبب انهيار الماغنترون، أما درجات الحرارة المرتفعة جداً فتؤدي إلى تلف المهبط بشكل مضطرد.

ينتج عن اجتماع الحقلين المغناطيسي والكهربائي في ساحة التأثير المتبادل من خلال قذف خلفي للإلكترونات إلى المهبط الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى تبديد نسبة من طاقة الدخل المطبقة على المصعد. بهدف المحافظة على درجة حرارة المهبط المثلى في ظل هذه الظروف، فلا بشكل عام من تخفيض جهد المسخن، وكذلك ينبغي توخي الحذر لدى رفع درجة حرارة المهبط إلى درجة حرارة تشغيله قبل تطبيق جهد المصعد. تقل المقاومة الباردة للمسخن بشكل نموذجي بمقدار الخمس عن المقاومة الساخنة ويجب التحكم باندفاع التيار عند تشغيل المسخن. كما يجب اتخاذ تدابير احترازية مشابهة لدى تصميم دارة معدل الخرج لمنع تبريد نبضة الطاقة في مسخن الماغنترون.

عمل المقوم المتحكم به بالشبكة في التيار المتناوب: تعتمد أهم تطبيقات المقوم ذي التحكم بالشبكة على سلوكه عند تغذية التيار المتناوب. فلدى تطبيق التيار المتناوب في دارة المصعد، يتم تخميد القوس مرة واحدة في كل نصف دورة، وذلك لأن الصمام يقوم بأداء دور المقوم بشكل مبدئي. ومن الآن تقوم الشبكة بمنح فرصة استرداد التحكم في كل نصف دورة، وهذا يعني بأنه عندما يتم تخميد القوس بسبب عكس الجهد المتناوب، يمكن للشبكة السالبة أن تمنع بدء تيار المصعد عندما يتحول المصعد ليصبح موجباً مرة ثانية في الدورة التالية. إذاً عند تغذية الشبكة بجهد متناوب بنفس التردد ولكن بطور مختلف فإنه يمكن التحكم بالقيمة المتوسطة

لتيار المصعد. يبين الشكل (4.17) كيفية قيام جهد شبكة مختلف الطور بتأخير بدء القوس خلال نصف الدورة الموجب لجهد المصعد، وبذلك يمكن التحكم بالقيمة المتوسطة للتيار المقوم بشكل ناعم من الصفر وحتى قيمته العظمى اعتماداً على اختلاف زاوية طور جهد الشبكة من 180° إلى 0°.

هناك طريقة أخرى للتحكم بجهد الشبكة لها نفس تأثير التحكم بزاوية الطور وهي تطبيق انحراف جهد متناوب مضبوط على الشبكة لتيار متناوب ذي طور ثابت (التحكم بالمطال).

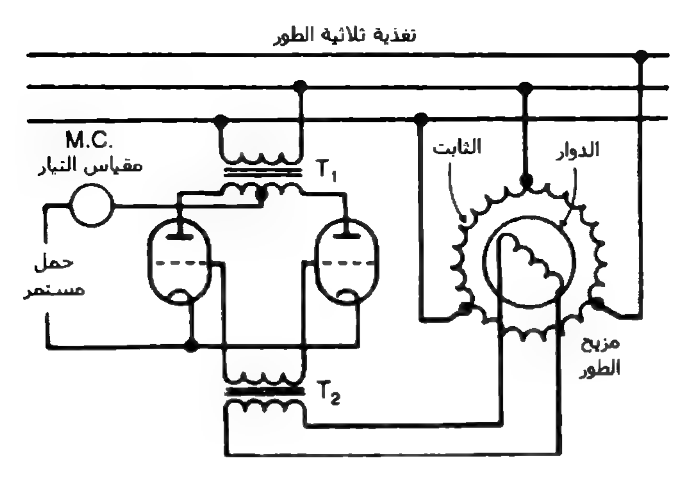


الشكل (4.17) التحكم بتيار المصعد عن طريق تغييرات الطور لجهد الشبكة. المساحة المظللة تظهر فترات نقل التيار

التقويم والتحكم بالطاقة: يتضح مما ورد أعلاه، أنه باستخدام الشبكة بالتزامن مع أداة إزاحة الطور، يمكن تغذية حمل مستمر من مصدر تغذية متناوب، وكذلك يمكن في الوقت ذاته، تنظيم حمل التيار من الصفر وحتى قيمته العظمى. فضلاً عن

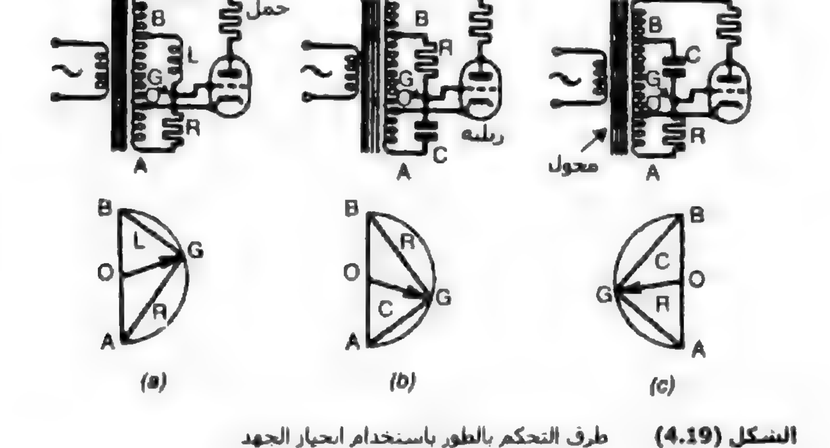
ذلك، عند عمل أداة إزاحة الطور بواسطة تغيرات الشروط الخارجية الخاضعة للتحكم، فإن التحكم الذاتي يمكن أن يكون مؤثراً بشكل تام.

يظهر الشكل (4.18) دارة نموذجية للتقويم والتحكم بالطاقة، حيث تستخدم صمامين ثلاثيين مملوءين بالغاز للحصول على تقويم كامل للموجة. تربط شبكات التحكم الخاصة إلى نهايات الملف الثانوي للمحولة T2، وبالتالي هناك شبكة موجبة واحدة كامل الوقت، بينما الشبكات الباقية هي شبكات سالبة بنفس الطريقة المرتبطة بالمصاعد، يتغير موقع زاوية طور جهد الشبكة المطبق بسرعة عن طريق أداة إزاحة الطور، والمتكونة من حقل ملفات موزع مرتبط إلى منبع تغذية متناوب وعنصر دوار أحادي الطور مرتبط إلى الملف الأولي للمحولة T2. يتحدد طور جهد العنصر الدوار المتحرض عن طريق جهد الشبكة في كل صمام، ويتغير بالتوافق معه تيار الدارة المستمر. يستخدم هذا الشكل من التحكم لأغراض متعددة وبخاصة في قيادة سرعة المحركات.



الشكل (4.18) دارة لتأمين تغذية بالتيار المتغير للأدوات المستمرة باستخدام صمامات ثلاثية غازية

دارات التحكم بالطور: إن أداة إزاحة الطور المشار إليها أعلاه هي عبارة عن منظم تحريضي صغير، يكوّن عنصر تحكمي بسيط جداً. يبين الشكل (4.19) عدة طرق مختلفة للتحكم بالطور بدلالة الجهد. في الشكل (4.19.a) يتم تمثيل الجهد عبر دارة المقاومة-المفاعلة بواسطة القطعة المستقيمة AB في المخطط الطوري.



الشكل (4.19) طرق التحكم بالطور باستخدام انحيار الجهد

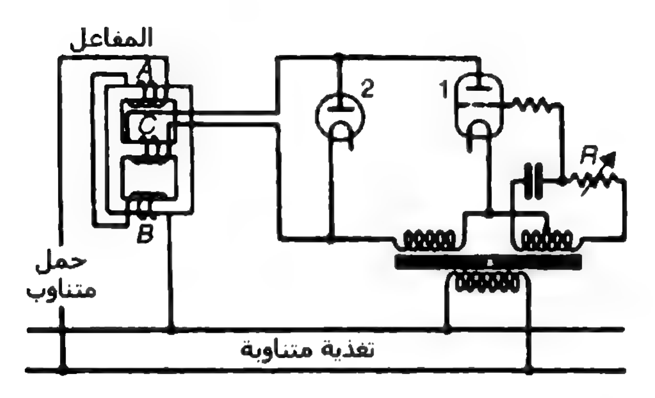
يمر نفس التيار من خلال المقاومة والمفاعلة (الوشيعة)، وتتشكل زاوية فرق صفحة °90 تقريباً بين هبوط الجهد AG على طرفي المقاومة و GB على طرفي المفاعلة. تمثل النقطة G جهد الشبكة بالنسبة للنقطة O (والمرتبطة بالمهبط)، ويمثل في المخطط الطوري عبر OG، وبتغيير المقاومة R يتغير طور الجهد OG بالنسبة للجهد OB، وهو عبارة عن جهد المصعد. لذلك فإن ازدياد المقاومة يؤدي إلى ازدياد تيار المصعد. يبين الشكل (4.19.b) تناقص تيار المصعد بشكل تدريجي وذلك بازدياد المقاومة، بينما يبين الشكل (4.19.c) بأن تيار المصعد هو إما صفراً أو بقيمته العظمى وذلك تبعاً لقيمة المقاومة فيما إذا كانت أكبر أو أصغر من القيمة الحرجة.

فيما تتطلب الدقة بالتوقيت، فإن جهد الشبكة المتناوب، بدلاً من امتلاكه لشكل موجة جيبية، يجب تصميمه بحيث يكون له شكل موجة ذات ذرى، ويركب فوق

جهد انحياز مستمر يعتبر أكثر سلبية من القيمة الخرجة العظمى. يتغير طور المركبة المستمرة بحيث يؤدي لإحداث ذروة موجبة عند أية نقطة في القسم الموجب لحلقة جهد المصعد، عندئذ يصبح مرور التيار ضرورياً للبدء

التحكم بالأحمال المتناوبة: يمكن أن يتأثر التحكم بحمل التيارات المتناوبة بشكل مناسب عن طريق صمام ثلاثي مملوء بالغاز يستخدم بالارتباط مع مفاعل قابل للإشباع. يبين الشكل (4.20) الدارة أحادية الطور. يمتلك المفاعل القابل للإشباع قلب حديدي صفائحي ذا نفوذية مرتفعة ويحمل ملفين a.c على التسلسل مع الحمل على وصلاته الخارجية. تقوم الوصلة المركزية بحمل ملف d.c يغذى بتيار مستمر عبر الصمام المملوء بالغاز، عندما يتغير طور جهد الشبكة، كأن يتم التحكم فيه عن طريق أداة إزاحة الطور، يكون لمثل ذلك الصمام غير الموصل ملف a.c ذا ممانعة عالية بسبب وجود القلب الحديدي ذي النفوذية العالية. تحت هذه الشروط يمكن إهمال حمل التيار.

عندما يزداد تيار خرج المقوم للشبكة المتحكم بها، يصبح حديد المفاعل مشبع بشكل تدريجي، وهذا يقود إلى إنقاص نفوذية الحديد، وبالتالي التقليل من ممانعة ملفات a.c للمفاعل، عند الخرج الكامل للثايروترون، يكون الحديد مشبع بالكامل ويطبق جهد الخط بالكامل على الحمل.



الشكل (4.20) دارة للتحكم بحمل متناوب باستخدام مفاعل مشبع

يقوم الثايروترون خلال النصف الموجب للموجات بتمرير دفقات وحيدة الاتجاه من التيار، ويستطيع الثايروترون خلال النصف السالب للموجات منع مرور التيار، ولكن يتم المحافظة على تيار المفاعل عبر تفريغ الطاقة المختزنة في حقله المغناطيسي في المقوم (2) عبر أطرافه، قد يكون المقوم من السيلينيوم أو أي نوع ديود مملوء بالغاز.

قياس درجة الحرارة والتحكم بها: عند التحكم بالأحمال الحرارية حيث تفوق درجات الحرارة 70°C، يمكن قياس الحرارة بواسطة بيرومتر Pyrometer كهرضوئي، والذي يستجيب للتغيرات الحرارية بشكل لحظي لدى معاينة الأجسام الساخنة. يتم تضخيم التيارات الكهرضوئية الصغيرة التي تعبر عن قياسات الإشعاعات المستقبلة، عن طريق مضخم صمام مفرغ ينشط شبكات تحكم صمامات البخار، وهذا يزيد أو ينقص تيار الحمل عن طريق التحكم بمفاعل قابل للإشعاع.

من أجل درجات الحرارة الأدنى، نستخدم ترمومتر مرتبط بمقاومة مرتبطة بدارة جسرية مع مضخم صمام مفرغ لتوليد إشارة جهد على شبكة التحكم. يمكن في غلايات التسخين الكهربائية الحصول على دقة تحكم مقدارها ±1°C عند درجة الحرارة 300°C بواسطة هذه الأداة.

التحكم الإلكتروني بالآلات والعمليات الصناعية: يمكن استخدام بعض الخواص الفيزيائية الأخرى إلى جانب درجة الحرارة المشار إليها أعلاه كإشارات قيادة لشبكات التحكم، وهذه الخواص يمكن تحويلها إلى جهود. فإذاً السرعة والعزم والتسارع والضغط والإضاءة والصوت والحركة الميكانيكية والخصائص الكهربائية المتنوعة جميعها تستخدم من أجل بدء التحكم في دارة الصمامات الثلاثية ذات بخار الزئبق أو الملء بالغاز. يمكن كشف الصوت على سبيل المثال عن طريق مكبرات صوت كربونية تحريضية أو سعوية، وتستخدم R, L, C كعناصر متغيرة في دارة الشبكة. أما الحركة الميكانيكية فيمكن كشفها عن طريق تغيير R, L, C ضمن مقاومات ذات أقراص كربونية، مقاومة متغيرة، خانق متغير أو مكثفة أو بواسطة خلية كهرضوئية. يستخدم مولد التاكو Tachogenerator لتسجيل تغيرات السرعة أو التسارع كما هو في بعض أنواع التحكم بسرعة محركات التيار المستمر على سبيل المثال.

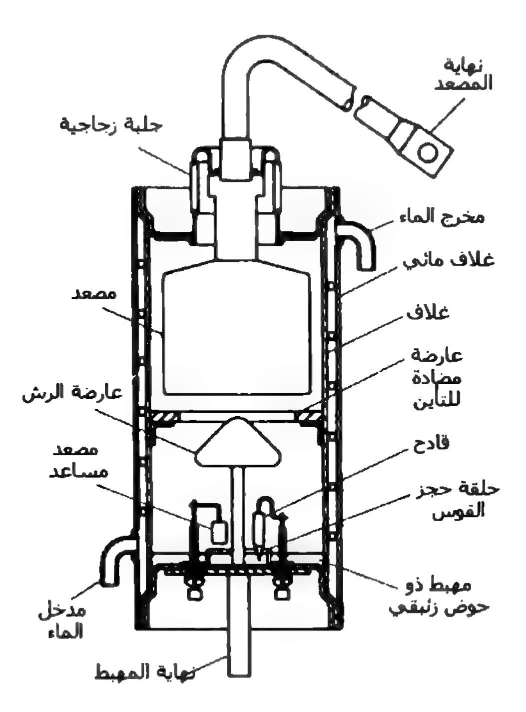
الإغنترونات (ignitrons): الإغنترون عبارة عن مقوم تيار عالي بمهبط ذي حوض زئبقي، وعادة يكون ضمن ماء مبرد في غلاف فولاذي، وهو يتألف في أبسط أشكاله من غلاف أسطواني مفرغ مع مصعد ثقيل مدعوم أو معزز من الأعلى بعازل زجاجي ومغطس من الأسفل بحوض من الزئبق. يمكن أن توفر بعض التطبيقات صمامات مع إغنترونات إضافية، مصاعد مساعدة وحواجز داخلية. تستخدم الإغنترونات في التطبيقات التي تتطلب مستويات عالية من التيارات كلحام المقاومة، والتقويم عالي الاستطاعة. هناك أيضاً أنواع تعتمد على عملية نبضة تيار عالية واحدة كتفريغ صفوف من المكثفات، وهذه تستخدم من أجل ملف مغناطيسي مسرع جزيئي نبضي من أجل التشكيل الإلكترومغناطيسي للمعادن والتطبيقات الأخرى المشابهة.

يشابه الإغنترون في تأثيره للثايروترون في الحاجة لإشارة تحكم للبدء في عملية التوصيل الكهربائي، والتي تستمر بعد ذلك حتى تناقص التيار إلى الصفر عندما يعمل الصمام كمقوم تيار متناوب في النقل خلال نصف دورة من تردد التغذية ويجب قدحها في كل نصف موجة متعاقبة ما دام ذلك ضرورياً للتوصيل الكهربائي. يبين الشكل (4.21) مقطع عرضي لمقوم إغنترون من شركة English Electric Valve.

والقادح هو عبارة عن قضيب صغير من مادة نصف ناقلة بنهاية حادة مغموسة في حوضٍ المهبط، لدى مرور تيار مناسب عبر وصلة القادح-الزئبق، يكون القادح موجباً، تتشكل بقعة مهبطية على سطح الزئبق وتصدر الإلكترونات الحرة. وعندما يكون المصعد موجباً بشكلٍ كاف بالنسبة للمهبط، يتولد في هذا الوقت قوس بين المصعد والمهبط. وعندما يضرب القوس لا يكون لدى القادح أي تحكم إضافي ويستمر الصمام بتوصيل الكهرباء حتى تناقص الجهد على طرفيه إلى قيمة أدنى من كمون تأين بخار الزئبق.

في دارة التحكم باللحام ثلاثية الطور، يجب أن يتم نزع شوارده بسرعةٍ بغية النأي به عن الجهد العكسي العالي الذي يتبع دورة التوصيل الكهربائي مباشرةً. يتم تحقيق ذلك عن طريق إدخال عارضة تعمل عند كمون المهبط (انظر الشكل 4.21). الوصلات الإضافية غير ضرورية، حيث يزداد هبوط الجهد عبر الصمام بشكل طفيف. يمكن إضافة مصعد مساعد لتقويم الطاقة عند الجهود العالية. يستخدم ذلك

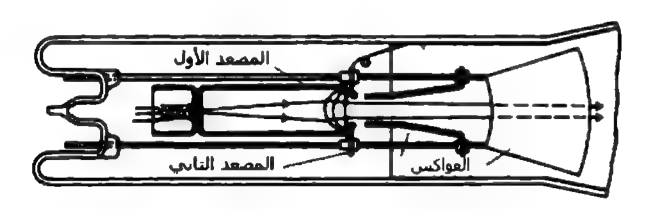
من أجل صدم قوس صغير في دارة الجهد المنخفض بمعزل عن الحمل الرئيسي، وهذا يحافظ على بقعة المهبط عند تيارات الحمل المنخفضة لنبضة عمل واحدة في ظل هذه الظروف. يتم تصميم الصمامات الكبيرة كي تستخدم لإطالة أمد إشعال القوس. حيث يمكن استخدام أو عدم استخدام مخفضات بغية المحافظة على قيم متدنية لهبوط جهد القوس قدر المستطاع.



الشكل (4.21) مقطع عرضي لمقوم إغنترون

أنبوب الأشعة المهبطية: يتكون أنبوب الأشعة المهبطية من حاوية زجاجية مفرغة مخروطية الشكل، تمتلك في نهايتها الضيقة (أو العنق) مهبط يمكن أن يسخن، قطب تحكم وعدة مصاعد، ويتواجد أعلى عنق الأنبوب زوجان من صفائح عاكسة

متعامدة فيما بينها كما هو مبين في الشكل (4.22). أما قاعدة الحاوية المخروطية فتطلى من الداخل بمركب من الفلوريسانت (النيون) الذي يصدر الضوء لدى سقوط الأشعة المهبطية عليه.



الشكل (4.22) أنبوب الأشعة المهبطية

يعمل الأنبوب على النحو التالي: عندما يسخن المهبط وتصل جهود المصاعد إلى قيم عالية وسعات متزايدة، تتسارع الإلكترونات الصادرة عن المهبط وتتركز في حزمة تنبثق من خلال منفذ صغير في المصعد الأخير، تمر هذه الحزمة عبر الزوج الأول من الصفائح العاكسة المتوضعة بحيث تجذب الإلكترونات لليمين أو لليسار لدى تعرضها لشحنة إلكتروستاتيكية، تمر هذه الحزمة بعد ذلك بين الزوج الثاني للصفائح العاكسة المتوضعة بحيث تنجذب الحزمة للأعلى أو الأسفل.

تتكون هذه الحزمة من سيل من الإلكترونات المتحركة بسرعة هائلة وترتطم بشاشة من الفلوريسانت محدثةً بقعة ضوئية ظاهرة. عند تطبيق جهد متموج على زوج الصفائح العاكسة الأول، تتحرك الحزمة على الشاشة من جانب إلى آخر بشكل متزامن مع الجهد المطبق على زوج الصفائح العاكسة الأول. وعند تطبيق جهد آخر على زوج الصفائح العاكسة الثاني، فإن الحزمة تحاول الحفاظ على حركتها الجانبية وتستقبل أيضاً إزاحة شاقولية تعتمد على الجهد المطبق على زوج العواكس الثاني. سوف نلاحظ أن بقعة الضوء سترسم على الشاشة منحني يعتمد على تغير الجهود المطبقة على زوجي الصفائح العاكسة كليهما.

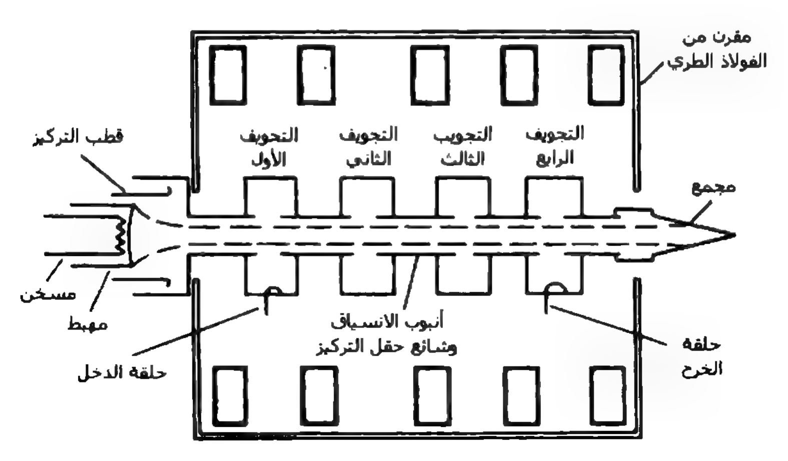
تعطي العواكس الأفقية في عدد من التطبيقات جهداً يتزايد بشكل تدريجي مع ارتداد لحظي بعد وصول الحزمة أو البقعة إلى الحافة النهائية للشاشة، وبالنتيجة تتحرك البقعة بسرعة منتظمة من اليسار إلى اليمين خلال فترة زمنية تقدر بـ 1/50 sec على سبيل المثال. وإذا طبق جهد متغير بتردد 50 Hz على الصفائح العاكسة الشاقولية، فإن انعكاس البقعة الشاقولي سيتعلق في أي لحظة بجهد التغذية الآني، وهذا فإن موجة جهد التغذية سترسم على شاشة الفلوريسانت، وبسبب الارتداد الآني، فإن العملية أعلاه تتكرر 50 مرة في الثانية الواحدة، وبالتالي سنشاهد على الشاشة موجة الجهد المتناوب المطبقة وكأنها موجة sin ثابتة مع أو بدون توافقيات استناداً إلى شكل موجة الجهد المطبق.

عند تطبيق أنبوب الأشعة المهبطية في التلفزيون، تستخدم الصفائح العاكسة الأفقية لإحداث بقعة تقوم بمسح (sweep) عرض الشاشة مع الارتداد في نهاية كل عملية مسح، بينما تتيح العواكس الشاقولية إزاحة شاقولية صغيرة للبقعة بعد كل عملية كنس أفقية مع عملية ارتداد. عندما يتم مسح الحافة السفلية للشاشة تطبق إشارات التلفزيون المستقبلة إلى قطب التحكم ويكون لها أثر زيادة أو إنقاص الحزمة اعتماداً على سطوع بقعة الصورة المرسلة بشكل آني.

الكلسترونات (klystrons): وهي أجهزة تأين حراري تسرع فيها الإلكترونات من المهبط الساخن إلى كمون المصعد الكلي، وتشكل حزمة متوازية طويلة تجتاز شبكتين أو منفذين يطبق بينهما جهد ذو تردد عالي عبر دارة توليف بشكل تجويف رنان (resonance cavity). تقود التغيرات الطفيفة على السرعة أخيراً إلى تعديل تقليدي للتيار عن طريق عملية الضم (Bunching) التي تكمل بشكل ظاهري تجويف رنان آخر (ماسك). فإذا كانت ممانعته وتوليفه صحيحان، فإنه سيقتطع من تلك الحزمة طاقة أكبر من تلك المستخدمة لتعديله. تعمل هذه المنظومة كمضخم، حيث الفعالية المعتدلة، طاقة الخرج قد تكون عالية جداً، ويزداد الربح بشكل غير محدد تقريباً عبر وضع تجاويف رنين بين الضام والماسك.

يمكن إحداث اهتزازات حتى أعلى الترددات إما عن طريق إعادة بعض الطاقة الملتقطة إلى الضام أو باستخدام إشارة تجويف رنين وعكس الحزمة ضمنها للخلف.

تتطلب الكلسترونات عالية الأداء حقل مغناطيسي محوري لتركيز الحزمة والتحكم بها أثناء عبورها لأنابيب الانسياق. الشكل (4.23). عادة ما يبرر الأداء المحسّن لهذه المنظومة هذه التعقيدات التي تم إضافتها إليها.



الشكل (4.23) شكل تخطيطي لمضخم رباعي الفجوات مع الوشيعة ومقرن من الفولاذ الطري والمستخدم لتأمين حقل مغناطيسي محوري

يتضرر الصمام عندما لا يتم تركيز الحزمة بشكل فعال، ولهذا من المهم حماية منظومة التركيز ضد الانهيار، والتي قد تؤدي لارتفاع أو تصاعد تيار الإلكترون ليصل إلى أنابيب الانسياق.

عندما يكون التركيب بسيطاً مع تخفيض مقبول في الأداء، يمكن استخدام كلسترون غير مجهز بوسائط خارجية لتركيز الحزمة، وهذا ينفي الحاجة للحقل المغناطيسي وطاقة التغذية الضروريان للمحافظة عليه، ويتم ببساطة اختزال التدابير الاحترازية المتخذة لتركيز الحزمة لترشيح حزمة الإلكترون من تأثير أي حقول مغناطيسية ضالة متواجدة في جوار الصمام.

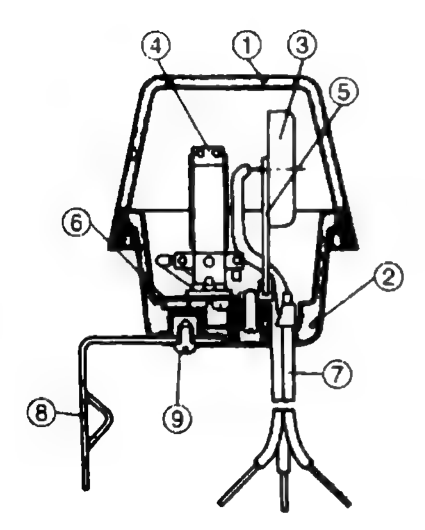
التجهيزات الكهرضوئية

الريليات الكهرضوئية: المكون الأساس للريليه الكهرضوئية هو مفتاح متكامل يتم تنشيطه ضوئياً. حيث يضم ديود ضوئي سيليكوني مع دارة متكاملة على أرضية واحدة لتأمين أداة كهرضوئية عالية الحساسية، ويعمل على النحو التالي: لدى ورود الضوء عليه بالكثافة المختارة، يتم وصل التيار ويتغذى الحمل الخارجي، أما إذا كانت كثافة الضوء الوارد دون المستوى الحرج فيتم فصل تيار الحمل، وتتم معايرة المستوى الحرج ضمن حدود عريضة. تشمل المعدات جهاز إسقاط يحوي على ديود مصدر للضوء (LED)، ومنظومة ضوئية تسقط حزمة ضوئية إما مباشرة أو بعد انعكاسها على خلية ضوئية مركبة في وحدة استقبال.

يتم تشغيل ملف الريليه عند بناء الحزمة الضوئية، وإيقافه عند قطعها، ولهذا فإن تماسات الريليه يمكن أن تقوم بعملية التحويل وبالتالي يمكن استخدامها لأداء بعض المهام التحكمية الخارجية. يمكن لوحدة التحكم أن تحتوي على دارات إضافية كالمؤخرات الزمنية أو دارات الهيار الـــ LED لتناسب احتياجات عدد كبير من التطبيقات. تتوفر أنظمة تعمل على مسافات من 10-15 mm وحتى 50 m أو أكثر.

تشمل تطبيقات الحواكم الضوئية عمليات التحكم بالسيور الناقلة، منبه قطع الورق، فرز وعد ألواح الورق المقوى، الطلاء الآلي، حماية الآلات، فتح الأبواب، التحكم بسوية سائل، الإنذار ضد السرقات، التحكم بمحاذاة الحواف، وقراءة البطاقات المثقبة.

وحدات المفاتيح الكهرضوئية: تستخدم المفاتيح الحساسة للضوء في التحكم بالإضاءة بشكل اقتصادي، وهي تتكون من خلية ضوئية ترصد شدة الضوء وتقوم بشكل آلي بتبديل الإضاءة فصل/وصل. يظهر الشكل (4.24) بنية وحدة نموذجية تقوم بالتحكم بحمل تيار متناوب مقاوم 3 A عند 230 V. والوحدة ترتكز على خلية كادميوم-كبريت وذات زمن تأخير 2 min للوقاية من الشططان (hunting). الوحدات الأكبر متوفرة بسعات تبديل قد تصل إلى 10 A.



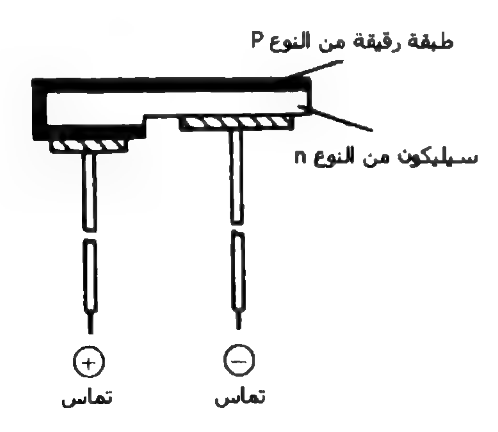
1. عطاء علوي
2. عطاء سفلي
3. خلية ضوئية من كادميوم وكبريت
4. ريلية ثنائية المعدن
5. الصفيحة العازلة
6. حاملة الريلية
7. أسلاك رصاصية
8. كتف التركيب
9. برغي التركيب

الشكل (4.24) وحدة مفاتيح كهرضوئية

خلايا السيليكون الكهرضوئية: صممت هذه الخلايا لتوفر تيار خرج كبير حتى في ظروف الإضاءة المنخفضة، حيث يمكن الحصول على تيارات من عدة mAs. يبين الشكل (4.25) بنية هذه الخلية. وهي كما هو واضح مكونة من طبقة رقيقة من النوع (p) متوضعة على سيليكون من النوع (n). وتحت التأثير الفولتاضوئي (photovoltaic) فلا داع لانحياز مصدر الطاقة، حيث يمكن الحصول على خرج خطي عن طريق اختيار حمل مقاوم مناسب لمجال واسع من الكثافة الضوئية. كخلية السيليكون الزرقاء المذكورة لاحقاً، فهي لا تمتلك توجيه أو استقبال للضوء وبالتالي ليس هناك حاجة لضبط المحور الضوئي كما هو الحال في الترانزستور الضوئي.

خلية السيليكون الزرقاء: كانت خلية السيليكون الزرقاء المسماة "Sharp" والمصنعة من قبل شركة Photain Controls، الثنائي الكهرضوئي الأول في العالم الذي يمتلك حساسية عالية على كامل الطيف المرئي للضوء. وهي أكثر وثوقية من خلايا السيلينيوم الضوئية

أو خلايا الكادميوم-الكبريت، وذات زمن استجابة عالية، وليس هناك انحياز مطلوب للطاقة، ولها مستوى ضجيج أقل من الأنواع الأخرى، وهي عديمة الاتجاه.



الشكل (4.25) خلية فولتا ضوئية

تشمل تطبيقاها: قياس شدة الإضاءة، شدة التعرض للضوء، القراءة الضوئية لطبقة المسارات الصوتية، قياس الألوان، قياس طيف اللهب، القياس الضوئي الطيفي، وتجهيزات التعرف على الأشكال والألوان.



المقومات والمبدلات

مقدمة

يعرف التقويم (rectification) بأنه عملية تحويل التيار المتناوب إلى مستمر. على مدى البضعة سنوات الماضية، تطلب تطوير وحدات قيادة متناوبة بسيطة وقوية وذات سرعة متغيرة ومناسبة لمجال واسع من الاستطاعة إلى تخفيض جدي، آلات التيار المستمر التي كانت ضرورية وأساسية للعديد من العمليات الصناعية ذات الحاجة الماسة للتحكم الدقيق بالسرعة. شملت مثل هذه التطبيقات آلات تشكيل المعادن، الروافع الكهربائية المعلقة، وإدارة أو قيادة قوى الجر. تم الحد كثيراً في الأوقات الراهنة من استخدام التيار المستمر في بعض العمليات الصناعية مثل منشآت الطلاء الكهربائي، منشآت إنتاج الغاز، وتأمين الشحن لمنظومات البطاريات الاحتياطية. يضاف إلى ذلك بعض التطبيقات الدخيلة المحدودة لنقل وتوزيع التيار ذي الجهد العالي.

لجميع هذه التطبيقات، فإن تجهيزات التبديل أو التحويل أصبحت في هذه الأيام جزءا من إلكترونيات الطاقة التي تتألف من الديودات والثايرستورات، لكن مبادئ عمل أجهزة التقويم بقيت ذاتها بصرف النظر عن الأداة التي تقوم فعلياً بعملية التقويم. سيقتصر الشرح في هذا الفصل القصير نسبياً على بعض أنواع المقومات التي لم تغطى في الفصول السابقة والتي لا يزال من الممكن مصادفتها في الحياة العملية.

المقومات المعدنية

ما زال هناك ثلاثة أنواع من المقومات المعدنية الشائعة الاستخدام: السيلينيوم، الجرمانيوم، والسيليكون. ينسب النوعان الأخيران عادةً إلى المقومـــات نصف الناقلـــة والتي تم شرح مبدأ عملها في الفصل الرابع. اعتبرت الشركة البريطانيـــة Westing-House Break and Signal Co. أحد أهم مصنعي المقومات المعدنية.

مقومات السيلينيوم: خلال الثلاثون عاماً المنصرمة، كان هناك تطور مستمر لمقومات السيلينيوم، حيث باستقرار المقوم، يمكن تشغيله عند درجات حرارة مرتفعة نسبياً مثلاً 120°C إذا دعت الحاجة، من جهة أخرى يمكن تشغيله لفترة زمنية أطول تحت شروط تشغيل عادية.

تم استخدام مقومات السيلينيوم بشكل واسع من أجل جميع متطلبات القدرة المتدنية، حيث التكلفة الابتدائية مهمة، وإمكانية تحمل الأحمال الكبيرة والمتكررة تنفي الحاجة لوسائط الحماية الخاصة التي قد تكون ضرورية لمقومات السيليكون والجرمانيوم. على الرغم من أن فعالية وأداء مقومات السيلينيوم أقل من النوعين الآخرين وأن حجمها أكبر في بعض الأحيان، إلا أن هذه الخصائص قليلة الأهمية من أجل خرج أقل من 25 kW.

في التطبيقات التي تشمل الطلاء الكهربائي، حيث يتم تزويد وحدات الزيت المغطس بتيارات تصل حتى 200 kA، عند قيم التيارات العالية، تستخدم وحدات الجرمانيوم المبردة بالماء بسبب وزنها الخفيف والحيز المحدود الذي تحتاجه.

تعتبر عملية الترسيب الكهروستاتيكي لإزالة شوائب الغبار من الغازات إحدى التطبيقات الشائعة لمقومات السيلينيوم، حيث تتطلب هذه العملية جهود مستمرة من 30 kV إلى 100 kV.

أجهزة تغطيس الزيت أجهزة موثوقة خلال العمل، متينة، وتقدم وسائط فعالة للتقويم وتستخدم تجهيزات ذات خرج 60kV وتيارات من 60mA وحتى 1A بشكل واسع. هذه التجهيزات عبارة عن مبدلات مضبوطة من خلال التخميد الخاطف جداً للقوس.

يمكن توفير مولدات الطاقة للقوس السينمائي عن طريق محول طاقة أو أجهزة سيلينيوم خانق/مكثفة بتيار ثابت لكل من الأقواس عالية أو منخفضة الشدة، ويمكنها العمل من خلال وحدات تغذية أحادية أو ثلاثية الطور.

مقومات الجرمانيوم: استخدمت مقومات الجرمانيوم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية منخفضة ومتوسطة الطاقة، حيث درجة حرارة المحيط منخفضة وبشكل خاص عند جهود دون 100V، حيث تكتسب الفعالية العالية عند مثل هذه الجهود أهمية بالغة. حجم الجهاز يمكن أن ينتمي لمجال الميغاوات.

يستخرج الجرمانيوم من الفحم والزنك، يتم ترسيبه وتكريره إلى درجة نقاوة عالية جداً، حيث تنتج مادة معدنية رمادية اللون تسحب في بلورة واحدة وتقطع بشكل خاص لتشكيل رقائق صغيرة، وعن طريق المعالجة الحرارية، يتم لحام أرضية إنديوم وتنتشر ضمن رقاقة الجرمانيوم. يشكل الارتباط بين الجرمانيوم والإنديوم الوصلة المقومة التي تتوضع ضمن علبة محكمة الإغلاق.

تستخدم كل من مقومات الجرمانيوم والسيليكون بشكل واسع في الأجهزة التي تؤمن الطاقة للمنتجات المنحلة كهربائياً للكلورين والهيدروجين. إشارات الخرج تزيد عن 27kA من أجل 120V مقدمة من تلك الأجهزة. يبدي الجرمانيوم أفضلية طفيفة في الفعالية من أجل الجهود المستمرة دون 100V ولكن قد لا يكون اقتصادياً في البلدان التي تكون فيها درجة حرارة الوسط المحيط مرتفعة.

يتم تأمين تغذية الطاقة المستمرة الصناعية في كثير من الأحيان من أجهزة أنصاف نواقل الجرمانيوم والسيليكون بالرغم من كون مقومات السيلينيوم هي الأفضل من أجل الطاقة الأدنى من 25kW، كما تم التطرق لذلك سابقاً. يستخدم كلا النوعين بشكل واسع في المقاسم الهاتفية الضخمة. أما مقومات شواحن بطاريات العربات الكهربائية فهي عادةً من نوع مقومات الجرمانيوم، كما يشكل اللحام مجالاً آخر للتنافس بين مقومات الجرمانيوم والسيليكون.

مقومات السيليكون: يستخرج السيليكون من الرمل ويتم تكريره لدرجة عالية من النقاوة، ويسحب على شكل بلورات أحادية ومن ثم يقطع إلى رقاقات. تضم إليه

صفيحة رقيقة من الألمنيوم ويتم نشرها على كامل رقاقة السيليكون، وتتشكل وصلة التقويم من الوصلة القائمة بين السيليكون والألمنيوم.

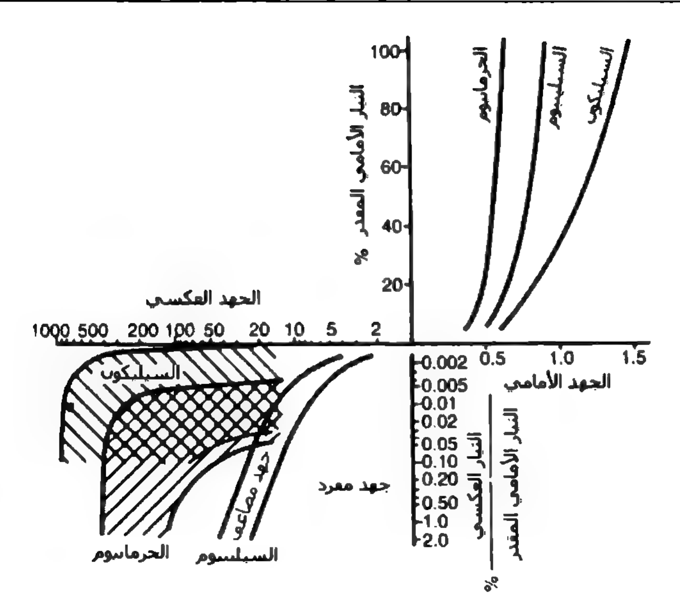
تم عرض العديد من تطبيقات هذا النوع من المقومات، لكنه يعتبر من المقومات الأفضل لتغذية خطوط الجر الحديدية. تعتبر وحدات القيادة ذات السرعة المتغيرة مجالاً ثانياً لاستخدام هذه المقومات بشكل واسع. جعلت تسهيلات الشبكة الكهربائية من هذا النوع مثالياً للتحكم بسرعة آلات التيار المستمر حتى معدلات عالية.

مقارنة الأنواع الثلاثة: تعد مقومات الجرمانيوم والسيليكون أقل حجماً من مقومات السيلينيوم من أجل خرج محدد، وهذا بسبب الجزء الناتج عن انخفاض المقاومة الأمامية لواحدة مساحة المقوم، والجزء الناجم عن الجهود العالية المقاومة في الاتجاه العكسي. يتحمل السيليكون جهد عكسي أكبر مما يتحمله الجرمانيوم، وكذلك يعمل عند درجات حرارة أعلى. أما المقاومة الأمامية للجرمانيوم فهي أدنى من مقاومة السيليكون.

يظهر الشكل (5.1) مميزات التيار/الجهد المستمرين لأنواع المقومات الثلاثة. يلاحظ أنه من أجل مقوم يعمل عند كثافة تيار عادية، فإن الجرمانيوم يبدي هبوط جهد منخفض، بينما يبدي السيلينيوم هبوط جهد أعلى، وسيكون هبوط الجهد الأعلى من نصيب السيليكون. في التطبيق العملي، من غير المعتاد تخطي التيار الأمامي بأكثر من 0.5%، لذا يعمل مقوم السيلينيوم عند 32V، والجرمانيوم عند 70~90 V، والسيليكون عند100~300 V.

يتم تحديد جهد عمل المقومات عبر عدة عوامل من بينها دورة العمل، ربط الدارة، درجة الحرارة، ...، الخ.

الميزات الحرارية: هناك درجة حرارة أعظمية عليا حرجة لا يمكن لأي من المقومات الثلاثة العمل بأمان عندها، لذلك من المهم ضمان عدم تجاوز درجة حرارة المقوم ودرجة حرارة الوسط المحيط معاً القيم الحرجة. يعتبر التقادم عائقاً بالنسبة لمقوم السيلينيوم، ومثل هذه الأجهزة مناسبة لدرجات حرارة تصل إلى 70°C مع وجود بعض الأجهزة المخصصة للعمل عند درجات حرارة كلية قد تصل إلى 130°C.



الشكل (5.1) مقارنة بين الخصائص الأمامية والعكسية لأنواع المقومات الثلاثة

مع أن درجة الحرارة العظمى التي يمكن لمقومات الجرمانيوم العمل عندها بأمان من التقادم الأمامي والعكسي هي 90°C، هناك عامل آخر يحدد درجة حرارة العمل الآمنة بمقدار 70°C وبسبب الكتلة الحرارية المنخفضة لهذا النوع من المقومات، فإن أحمالاً صغيرة نسبياً قد تسبب ازدياداً متسارعاً لدرجة الحرارة، لذلك من المستحسن تحديد درجة الحرارة الكلية للتشغيل بمقدار 50°C، ولأسباب مشابهة، تختزل درجة حرارة العمل الكلية لمقوم السيليكون من 200°C إلى ما يقارب 160-170°C وذلك لضمان عامل أمان إضافي.

التحميل الزائد: يتم تشكيل مقومات السيلينيوم على قاعدة معدنية أساسية وتعمل عند كثافة تيار منخفضة، لذلك يمكنها الصمود أمام التحميل الزائد والقاسي للتيار لفترة زمنية قصيرة دون تعرضها للتلف. وكما تم الإشارة إليه سابقاً ، فإن الكتلة الحرارية المنخفضة لكلا النوعين الآخرين لا تسمح لهما بتحميل زائد للتيار.

يسبب تحميل الجهد الزائد تسرباً متزايداً للتيارات مما يؤدي للتسخين الذاتي. مرة أخرى، تعد وسائط السيليكون والجرمانيوم أكثر حساسية لهذا الأمر، ويجب أخذ التدابير الاحترازية لحمايتهم من مثل هذه الحمولات الزائدة أثناء ظروف العمل الطبيعية.

التوصيلات التفرعية والتسلسلية: يجب اتخاذ الاحتياطات الضرورية لدى القيام بوصل مقومات السيليكون والجرمانيوم على التسلسل أو على التفرع وذلك لضمان المشاركة بالحمل. تتوافق معدلات الأداء إلى حد بعيد أو تختزل جزئياً. من المرغوب فيه وجود حماية مستقلة للديودات بواسطة فواصم منصهرة (fuses) أو ما يكافئها.

الحجم والفعالية (المردود): عند نفس الطاقة للخرج، يعادل حجم مقوم الجرمانيوم ثلث حجم مقوم السيلينيوم تقريباً، أما حجم مقوم السيليكون فيكافئ ثلث حجم مقوم الجرمانيوم أو عشر حجم مقوم السيلينيوم.

يتحدد مردود منشأة ما باعتبار جميع المعدات والأجهزة كما يعتمد إلى حد ما على طريقة وصل الدارات والحمل...الخ. يقدم الجدول (5.1) المردود لأنواع المقومات الثلاثة.

الجدول (5.1) مقارنة مردود المقومات (%)

الجهد المستمر	السيلينيوم	الجرمانيوم	السيليكون
6	85	91	83
12	91	95	90
25	91	97	94
50	91	97	97
100	92	97	97
500	92	97	98
750	92	98	98

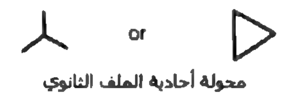
أجهزة المقوم

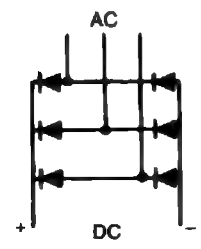
الترتيبات الفيزيائية: يشتمل مقوم السيليكون، في أبسط أشكاله، على تركيب ديودات على مبردات حرارية مع فاصمة منصهرة وعناصر حماية من تذبذب الجهد. ويتم وضع كل هذه المركبات عادةً ضمن لوح مغلف وتجهز بمحول ذي ملفين منفصلين. يمكن أن يضم المحول عناصر أخرى تتضمن مقصورات تحكم صغيرة، مجموعة مفاتيح كهربائية، منظمات جهد، والوصلات. أما المقوم القابل للتحكم فهو مشابه لما سبق ، مع وجود الثايرستورات عوضاً عن الديودات مع جهاز قدح إلكتروني مناسب وأجهزة قيادة. عادةً توضع تركيبة المقوم في مقصورات مثبتة على الأرض وموصولة إلى محولة. يمكن أن يتم التبريد بشكل طبيعي بالهواء أو في بعض الحالات بشكل قسري بدفع الهواء، ويمكن استخدام دارة تبريد هواء أو سائل عندما يكون الجو مغبراً أو رطباً أو يسبب التآكل. تستخدم مقومات التيار الثقيلة عادةً اجتماع التبريد بالماء مع مبددات حرارية ملتحمة إلى قضيب التوصيل كأفضل الوسائل للوصول إلى المعدلات العالية المناسبة للمحيط الكهركيميائي.

التوصيلات الأساسية: يعتمد اختيار التوصيل أحادي الاتجاه (نصف الموجة) أو التوصيل ثنائي الاتجاه (موجة كاملة) جزئياً على الجهد المستمر اللازم. ففي التوصيل الأحادي، يمر التيار المستمر بشكل فعال خلال ديود واحد في كل مرة بدلاً من المرور خلال ديودين على التسلسل في وصلة الجسر، لذلك فإن هبوط الجهد الأمامي يكون بنصف قيمة انخفاض الجهد في وصلة الجسر. وبالتالي فإن الضياعات كذلك ستكون النصف. لذلك فإن ضياعات المحولة والكلفة ستكون عالية بالنسبة للعمل في الطريق الأحادي. يتم تحديد الجهد أعلاه باستخدام الطريق الثنائي بشكل عام بالجمع بين اعتباري الكفاءة والكلفة. تبين الأشكال من (5.2) حتى (5.7) عدداً من الأشكال المختلفة للمقوم.

يظهر المخطط ثنائياً (ديود) واحداً في الذراع على الرغم من إمكانية وجود عدد من الديودات المرتبة (موصولة تسلسلياً أو تفرعياً) في كل ذراع.

الجسر ثلاثي الطور (ست نبضات): يظهر الشكل (5.2) طريقة التوصيل ثنائية الاتجاه والتي تعطي تقويماً سداسي النبضات وبزاوية توصيل 120°. إن تنظيم الجهد عملياً عبارة عن خط مستقيم على مجال العمل الطبيعي. هذه الطريقة في التوصيل هي الأكثر استخداماً في وحدات تغذية الطاقة الصناعية.

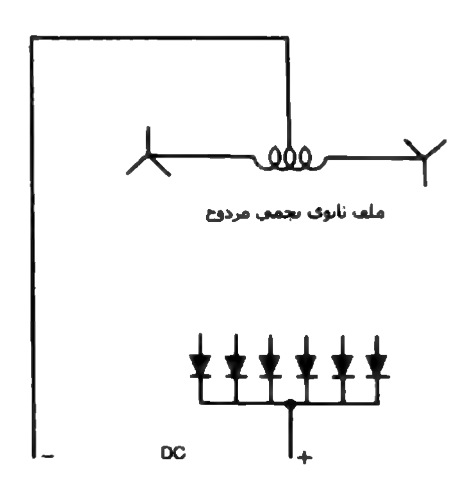




الشكل (5.2) دارة سداسية النبضات من أجل خرج مستمر بجسر مفرد ثنائي السلك

النجم المضاعف (ست نبضات): في هذه الوصلة تنفصل ملفات الثانوي سداسية الطور إلى مجموعتين متعاكستين لهما شكل نجمي، وتتصل النقاط الحيادية لكل منها من خلال معادل الطور كما هو مبين في الشكل (5.3). تمكن موازنة الجهد المؤثر على معادل الطور المجموعتين النجميتين من التشارك على التيار، وتحدث عملية نقل عند الزاوية 120° وذلك من أجل جميع قيم التيار التي تكون أكبر بمقدار طفيف من القيمة اللازمة لمغنطة معادل الطور. يميل منحني تنظيم الجهد عملياً بشكل خطي، بينما تتخذ زاوية النقل القيمة 120° ، لكن يظهر طرف حاد بحوالي 15% عن إزالة مغنطة معادل الطور. تكون هذه النقطة مع وجود القلوب الفولاذية الحديثة عادةً دون 0.5% من الحمل و عادةً لا يعتبر ظهورها سيئاً أو ضاراً. ويمكن عندما تدعو الحاجة تزويد حمل فرعي دائم صغير موصول أو يتم تحويله آلياً ووصله إلى الحمولات المنخفضة للتخلص من هذا الأثر. تستخدم هذه الوصلة مبدئياً لوحدات

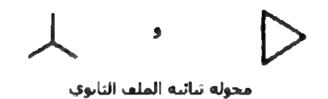
تغذية القدرة لتشغيل العمليات منخفضة الجهد ذات الطبيعة المستمرة، حيث يكون للكفاءة أهمية رئيسية بشكل عام.

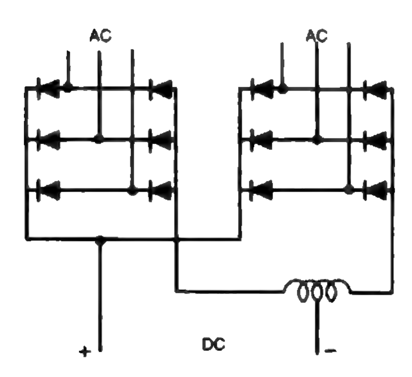


الشكل (5.3) دارة بست نبضات ونصف موجة من أجل خرج d.c بسلكين

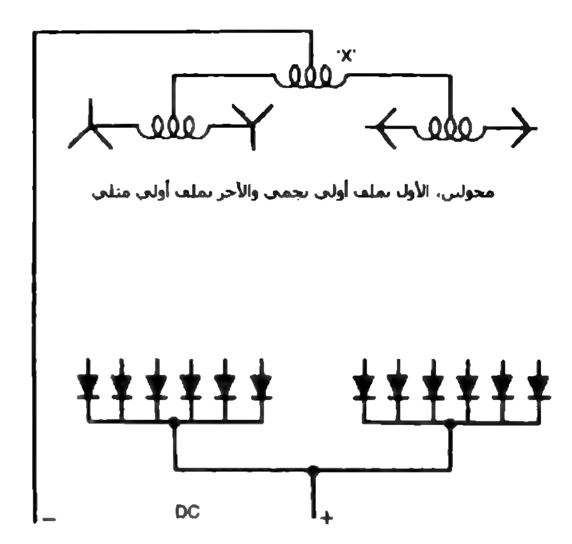
التوصيلات متعددة الدارات: للعمل بنمط 12 نبضة، نحتاج إلى معدات مقومين من النوع سداسي النبضات، بمجموعتين من التجهيزات أو دارتي مقومين بحيث يكون انزياح الطور بينهما بمقدار °30. يمكن التوصل لذلك عادةً عن طريق علاقة نجمي/مثلثي بين المحولات أو ملفات المحول الموصولة مع مقومات بست نبضات. تحتاج عملية إزاحة الطور التفرعية إلى حد بعيد إلى دارة معادل مشترك أو إلى موازنة الجهد بين مجموعات الطور المزاح (الشكلان 5.4 و 5.5) ، ولكنها تحذف أحياناً عند وجود تيار مستمر كاف في التوصيلات أو في المعادلات الأخرى.

في المنشآت الضخمة، يمكن الحصول على عدد نبضات أكثر من 12 نبضة بإزاحة مناسبة للطور ضمن أجهزة التقويم ذات 6 نبضات أو 12 نبضة.



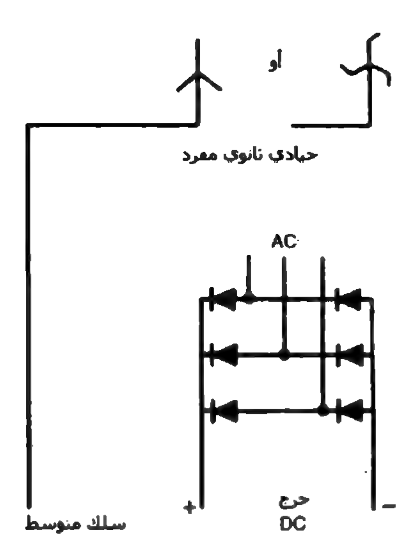


الشكل (5.4) دارة محولة ذات 12 نبضة من أجل خرج مستمر بسلكين من جسور تفرعية مع مفاعل مشترك



الشكل (5.5) دارة نصف موجة ذات 12 نبضة لخرج d.c بسلكين المفاعل X يمكن حذفه أحياناً

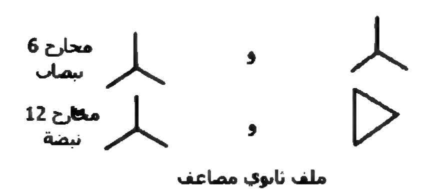
الدارات ثلاثية الأسلاك: يمكن الحصول على خرج تيار مستمر ثلاثي الأسلاك بسهولة تامة بواسطة توصيل عدد من المقومات والمحولات. يعتمد اختيار أي طريقة توصيل خاصة على احتياجات أو متطلبات التيار خارج التوازن، وعلى عدد نبضات الجهد المستمر من السلك الخارجي إلى المتوسط، وكذلك على الكلفة. يظهر الشكل (5.6) الوصلة الأقل تكلفة، حيث تشمل مقوم جسري ثلاثي الطور عادي ومحولة ذات توصيل ثانوي نجمي أو نجمي متداخل مع نقطة الحيادي. تصلح هذه الوصلة من أجل تيار توازن منفصل لا يقل عن 20% في السلك الأوسط مع ملفات نجمية بسيطة أو استخدام ملف نجمي متداخل 100%. في مثل هذه الدارات، يحتوي شكل موجة الجهد المستمر على توافقيات لست نبضات تعمل عبر السلك الخارجي وثلاث نبضات تعمل من الأسلاك الوسطى إلى الخارجية. تعادل القيمة المجدية لتوافقيات الجهد ما يقارب 6% من الجهد المستمر من أجل عمل ست نبضات وما يقارب 25% من أجل عمل ثلاث نبضات.

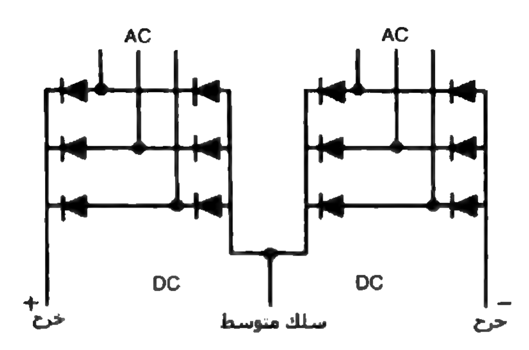


الشكل (5.6) دارة من أجل خرج D.C بثلاثة أسلاك مع مخارج 6 نبضات و 3 نبضات بسلك متوسط

تتكون الوصلة المبينة في الشكل (5.7) من جسري تقويم ثلاثيي الطور موصولان على التسلسل وتتم تغذيتهما عن طريق محولة ذات ملفين ثانويين، أحدهما ذو توصيل نجمي والآخر ذو توصيل مثلثي. تتعامل هذه الوصلة مع تيارات توازن منفصلة 100% مع توافقيات الجهد المستمر من الخارج إلى الداخل بحدود 3% من القيمة المحدية (12 نبضة) ومن الخارج إلى الوسط بحدود 6% (6 نبضات).

توافقيات التغذية: من المهم بقاء التوافقيات المسحوبة من التغذية ضمن الحدود الخاضعة لمصدر التغذية عن طريق منظومة المقوم. هناك توصيات تحدد عادة الشروط الحدية للمقومات (تحدد عدد النبضات، وتفرض عدم وجود تحكم بالطور) التي تم تغذيتها عند جهود مختلفة عند نقطة الربط المشترك بين مستهلكين أو أكثر.





الشكل (5.7) دارة من أجل خرج D.C بثلاثة أسلاك مع 6 نبضات أو 12 نبضة خرج و 6 نبضات سلك متوسط

الجدول (5.2) حمولات المقوم المسموح فيها من أجل جهد محدد في بريطانيا

جهد منظومة التغذية (kV) عند النقطة المشتركة العامة	نوع المقوم	السعة المسموح بها kVA وعدد النبضات الفعالة المرتبطة لمنشأة ثلاثية الطور		
		3 نبضات	6 نبضات	12 نبضة
0.415	بدون تحكم	-	150	300
	نصف تحكم	-	65	-
	تحكم كامل	-	100	150
6.6 و 1.1	بدون تحكم	400	1000	3000
	نصف تحكم	-	500	-
	تحكم كامل	-	800	1500
33	بدون تحكم	1200	3000	7600
	نصف تحكم	-	1200	-
	تحكم كامل	-	2400	3800
132	بدون تحكم	1800	5200	15000
	نصف تحكم	-	2200	-
	تحكم كامل	-	4700	7500

يظهر الجدول (5.2) التوصيات العامة البريطانية، هذه المتطلبات عادةً أكثر مشقةً منها في البلدان الأخرى التي تسمح بحمولات أكبر للمقومات. يجب التذكير بأن دارة الجسر ثلاثية الطور ذات عدد النبضات المساوي إلى ست، أما النبضات الأقل من ست فهي تستخدم في المقومات ذات المجال المقدر ببضعة kW أو بترتيبات خاصة من القائمين على التغذية.

يمثل هذا الجدول دليلاً فقط، وبشكل دائم على مستخدمي المقومات المحتملين استشارة مسؤولي التغذية الكهربائية المحليين والمطلعين على أجهزة المقومات المستهلكة الأخرى الموصولة أو التي يمكن أن تتصل إلى النظام.

التنظيم: يعرف التنظيم الملازم لمعدات المقوم بأنه الارتفاع في الجهد عند الانتقال من الحمل الكامل إلى الحمل الخفيف، ويعبر عنه كنسبة مئوية من الجهد المستمر للحمل الكامل المعدل. يؤخذ الحمل الخفيف كنسبة 5% من الحمل المعدل. يمكن

لبعض دارات التقويم أن يرتفع الجهد المستمر فيها بشكل حاد بمقدار 5% أدنى من الحمل وذلك بسبب إزالة المغنطة عن الأطوار المتداخلة للمحولة. وهناك عدة خطوات يتم اتخاذها لمنع حدوث ذلك. تمتلك معدات المقومات الصغيرة منصهرات حماية ذات تنظيم ملازم من رتبة 5%، أما المعدات الأكبر فتصمم بحيث تكون محمية عبر لوحة مفاتيح قيادة كهربائية ويكون لها مفاعلة محولة مقوم أعلى، ويكون التنظيم الملازم بحدود 8% تقريباً. يمكن الحصول على قيم تنظيم أدنى من ذلك بعد بذل المزيد من التكاليف.

حماية المقوم: تتم حماية معدات التقويم ضد الزيادة المفرطة للتيار أو تموجات الجهود، وتصمم بحيث لا يتسبب ذلك في تلف المقوم عند انهيار المركبات الداخلية له. هناك ثلاث طرق للحماية من التيار الزائد: قواطع الدارة، المنصهرات، أو الجمع بينهما.

عند استعمال المنصهرات، يجب أن تكون من النوع سريع التأثير، وهي تصمم بشكل خاص لتلائم خصائص الديودات. حيث يتم وصلها مع الديودات على التسلسل لكن فصل الديود سيؤدي إلى حدوث خطأ داخلي يسمح بمرور التيار خلال فترة الحجز. عند وصل الديودات على التفرع عادةً تمتلك منصهرات مستقلة. كذلك يتم توصيل منصهرات إشارة، من نوع إبرة القادح، عبر منصهرات الديود للمساعدة في تمييز المنصهر المصاب والديود المعطوب. في المعدات الصغيرة يوجد ست منصهرات على الأقل، ومن المقبول في الغالب أن تقتصر وسائط الحماية عليها.

تستخدم قواطع الدارة عندما لا يكون من المرغوب فيه فقدان التغذية الكاملة للتيار المستمر بسبب خطأ أو عطل مغذي التيار المستمر لشبكة التوزيع. وهذا بشكل عام ما يطبق على المعدات الكبيرة للمقوم. في مثل هذه الحالات، يتم تزويد منصهرات الديودات لحمايتها ولكن يتم التغلب على أخطاء أو أعطال مغذي التيار المستمر عن طريق قواطع دارة التيار المستمر عالية السرعة. وذلك يبقي على تغذية المقوم للدارات السليمة. عند وجود احتمال حدوث فرط كبير في التيار المستمر ولكن دون التسبب بالخطر، أي عدم التسبب بقصر في الدارة، يمكن التخلص من فرط التيار عبر قاطع دارة تيار متناوب مصبوب في صندوق مع منصهرات ديود كحماية احتياطية من أعطال الخدمة. تطبق مثل هذه الحمايات للمعدات الصغيرة حتى

200/300 kW ، وفقط عندما يكون جهد التغذية المستمر أقل من 1000 V. تسمح على الأرجح مفاعلة محولة عالية أكثر من الطبيعي لقواطع التيار المتناوب بالتخلص من معظم الأعطال.

يتم تأمين الحماية من تموج الجهود عن طريق دارة مقاومة/مكثفة ضمن معدات المقوم. تحدد هذه الدارات تموجات جهد العبور وتبديل ذرى الجهد إلى مستويات أدنى بشكل جزئي من معدل العبور للديودات. في أغلب الحالات، يتم حماية دارات امتصاص التموج ذاتها عبر المنصهرات. يمكن في المعدات الكبيرة تأمين إشارة موضعية أو عن بعد لعمل المنصهرات.

عند وجود إمكانية حدوث إعادة التوليد، من الضروري حماية شبكة التيار المستمر عبر وسائل حماية أخرى غير دارة امتصاص التموج. فأي محرك يحاول تغذية الطاقة إلى نهايات المقوم يرفع الجهد المستمر إلى المستوى المسبب للضرر. يمكن تطبيق الحماية في هذه الظروف عن طريق مقاومة تحميل توصل بشكل دائم أو يتم ضمها للدارة عند حدوث شروط إعادة التوليد.

آلات التحويل

يستخدم الاصطلاح آلات التحويل ليغطي تلك التجهيزات التي يتم بواسطتها تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر باستخدام آلات ذات أجزاء دوارة. فعلى الرغم من بدء تلاشي استخدامها تدريجياً وحلول المحولات الستاتيكية محلها، لا زالت العديد منها تعمل حتى الآن، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية هي:

المحولات الدوارة: تتكون هذه المحولات من ملفات الدوار التي تدور ضمن حقل مولد تيار مستمر، يجهز الدوار بحلقات منزلقة في إحدى نهايتيه ومبدل في النهاية الأخرى. عندما يحدث الدوران عند سرعة متزامنة، تتم تغذية التيار المتناوب إلى الحلقة المنزلقة، ويمكن الحصول على التيار المستمر من المبدل. هناك لفة واحدة فقط في الآلة حيث يتم الحصول على الطاقة التي تحافظ على التشغيل والتغذية الكهربائية وضياعات الاحتكاك من جانب التيار المتناوب.

يعمل المحول الدوار من جانب التيار المستمر عندما يصبح بالإمكان الحصول على التيار المتناوب من الحلقات المترلقة، ويدعى هذا الترتيب بالمحول الدوار العكوس. عملياً تكون جميع المحولات الدوارة، ومن أي حجم، متعددة الأطوار (ثلاثية الطور للمخارج الصغيرة والمتوسطة وسداسية الطور للمخارج الكبيرة)

نسبة التحويل: إن قيمة جهد التيار المستمر ستكون بمقدار($\sqrt{2}$) ضعف من جهد التيار المتناوب من أجل طور واحد، والنسب المختلفة للآلات متعددة الأطوار مبينة في الجدول (5.3). تعطى العلاقة بجهود التيار المستمر بين الحلقات المترلقة:

$$=\frac{\text{d.c volts}}{\sqrt{2}}\sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$$

حيث m عدد الحلقات المترلقة.

الجدول (5.3) نسب التحويل

	أحادي الطور	ثلاثي الطور	سداسي الطور	12 طور
الجهد بين الحلقات المنزلقة كنسبة مئوية من جهد التيار المستمر	70.7	61.2	35.4	18.3

وبما أن جهود التيار المستمر تكون عادةً ضمن المجال 220 إلى 240 V فإنه سيلاحظ مع وجود التغذية المتناوبة المعتادة، نحتاج لوجودمحولة لتقديم الجهد المطلوب للتغذية من جانب التيار المتناوب.

عادة ما تكون الآلات سداسية الطور هي الأكثر استخداماً بسبب إمكانية الحصول على تغذية سداسية الطور ببساطة تامة من الملفات الثانوية للمحولة، باستخدام التوصيل المثلثي على الجانب عالي الجهد.

يمكن الحصول على تنظيم الجهد إما عن طريق تغيير عامل الاستطاعة (التحكم المهيج)، وهذا يستخدم المفاعلة التحريضية للمحولة، أو عن طريق استخدام جهاز تقوية. يمكن كذلك الوصول إلى تنظيم الجهد عن طريق استخدام منظم تحريضي.

يتراوح مردود المحولات الدوارة بين 90% إلى 94% وهي تمتلك سعة تحميل عالية، وعندما يكون عامل الاستطاعة تحت السيطرة فإنه يمكن الإبقاء عليه واحدياً.

لا تبدأ المحولات الدوارة الإقلاع ذاتياً عادة من جانب التيار المستمر، ولكن يمكن لف ملفات إقلاع على الجزء الثابت Stator ليؤثر كمحرك تحريضي. هناك طرق أخرى مستخدمة تتضمن الإقلاع من جانب التيار المستمر واستخدام محرك إقلاع مساعد. مع هذه الطرق يجب تأمين التزامن بحرص قبل الوصل إلى تغذية تيار متناوب وإلا فإنه قد نحصل على نتائج خطرة وضارة.

المولدات ذات المحرك: تتكون من آلتين منفصلتين بشكل كلي (من وجهة النظر الكهربائية)، وأي آلتين (محرك يقوده مولد على سبيل المثال) يمكن أن تشكلا مبدل محرك.

ترتبط الآلتان عادةً لتحويل التيار المتناوب إلى مستمر وتتكون من محرك تحريضي أو محرك متزامن لقيادة مولد تيار مستمر. وهي أيضاً تقوم بالتحويل العكسي من التيار المستمر إلى المتناوب عندما يكون الأخير مطلوباً في حال عدم وجود تغذية. كذلك تستخدم محولات المحرك كمغيرات للتردد (محرك تيار متناوب يقود منوبة).

بسبب وجود الضياعات في كلتا الآلتين، يكون المردود منخفضاً ولا يتجاوز عادةً 90%. إحدى إيجابيات هذه التركيبة تكمن في إمكانية الحصول على جهد مرتفع إلى جانب التيار المتناوب وهناك إمكانية التحكم بشكل أوسع في جهد الخرج بالنسبة للمحولات الدوارة. تستخدم المولدات ذات المحرك كوحدات تغذية احتياطية في التجهيزات الحاسوبية أحياناً.

محولات المحرك: تتكون من آلتين ميكانيكيتين موصولتين معاً، وكذلك يتم وصلهما كهربائياً. يتكون جزء المحرك من محرك تحريضي مع ملف دوار، ويتصل الدوار إلى ملفات دوار جزء المولد. يتغير المردود عند الحمل الكامل من 86% إلى 92% مع عامل استطاعة يتجاوز 0.95. وهي أكثر استقراراً من المحولات الدوارة وذاتية الإقلاع من جانب التيار المتناوب ولكنها غير فعالة بشكل كاف من أجل الحمولات الخفيفة.



الحواسيب والمتحكمات القابلة للبرمجة

مقارنة مع فروع الهندسة الكهربائية الأخرى، شهد قطاع الحوسبة في الآونة الأخيرة تحولات جذرية هامة. بفعل التوسع الكبير الذي طرأ على هذا القطاع، أصبحت دراسة أنظمة الحواسيب والحوسبة من المواضيع المستقلة بحد ذاتها. سنحاول فيما يلي تقديم لمحة مختصرة لعدد من الأنظمة المتوفرة حالياً مع لفت انتباه القارئ بأنه إذا أراد التعرف على قدرات هذه الأنظمة بشكل أعمق، فسيجد المعلومات المنشودة في منشورات أخرى أكثر تخصصاً.

تم اختزال العديد من أوجه الأنشطة الحاسوبية في جملة وحيدة هي التعريف التالي "الحواسيب هي أجهزة لمعالجة المعلومات" ويتضمن ذلك في البيئة الصناعية، التحكم بأجهزة أو معدات أخرى، وهذا التحكم يستند إلى إشارات المعلومات المستقبلة وعلى مجموعة التعليمات التي تستقبل وتفسر تلك الاشارات.

هناك سمتان أساسيتان لكيفية معالجة المعلومات من قبل الحواسيب وهما:

1. يجب تمثيل البيانات بشكل رقمي، أي استخدام الترميز الثنائي (binary)، حيث يمكن التمثيل في هذا النظام عن طريق الرقمين 0، 1 فقط، لكن يمكن تمثيل أي عدد عن طريق تشكيل سلسلة طويلة من الآحاد والأصفار (0، 1) باستخدام هذا الترميز، ويمكننا بعد إجراء تبديلات بسيطة، تمثيل الأحرف والرموز الطباعية الأخرى، وبشكل مشابه يمكن تمثيل الصور رقمياً حيث

تعطى كل نقطة أو بكسل Pixel عدداً مرتبطاً بظل اللون الخاص، إن توصيف الصور ذات الألوان بهذه الطريقة ينتج عنه بيانات ضخمة جداً، لكننا نقوم باختزال هذا الكم الكبير من المعلومات إلى الشكل الذي يجعلها قابلة للمعالجة بواسطة الحاسب.

2. السمة الأساسية الثانية هي معالجة المعلومات الرقمية بشكل إلكتروني حيث يمكن بناء دارات إلكترونية تتناول البيانات الرقمية، فعندما يعبر عن الأعداد إما بصفر أو واحد تصبح عملية بناء دارات لجمع عددين أو مقارنة عددين عملية سهلة نسبياً، هنالك سهولة في تخزين البيانات المكونة من آحاد وأصفار، ولا تعتبر ضخامة عدد البتات المستخدمة في تمثيل المعلومات حتى ولو كانت كلمة إنكليزية قصيرة، من الأمور الهامة. تمتلك الحواسيب عدداً هائلاً من الدارات التي تعمل جميعها وبسرعة لا تصدق، وأكثر من هذا، تتبع قدرة الحاسب للسرعة التي يعمل بها وإلى عدد البتات التي يعالجها في نفس اللحظة الزمنية.

من الواضح بالنسبة للمستثمر أن ضغط أزرار لوحة المفاتيح يؤدي إلى ظهور الأحرف على الشاشة، في الحقيقة، يعمل الحاسب على العديد من الجبهات المختلفة لتحقيق ذلك.

بدايةً، هناك المكونات الصلبة (hardware) وهي المكونات الفيزيائية الفعلية الموجودة في نظام الحاسب، لوحة المفاتيح لضغط الأزرار، والشاشة وهي إما مكونة من صمامات الأشعة المهبطية أو من شبكة الأشعة الصادرة عن الثنائيات (الديودات diodes).

تؤمن دارة متكاملة واحدة متوضعة على شريحة من السيليكون جميع وظائف المعالجة الرئيسية للحواسب المكتبية، وهناك شرائح أخرى لتأمين الذاكرة، ويجب توفير منبع للتغذية الكهربائية ومروحة تبريد ووسيط أو أكثر لتخزين البيانات لفترات طويلة باستخدام وسائط مغناطيسية، في هذا الحقل متسارع الخطى، على سبيل المثال سعات الوسائط التخزينية أو سرعة المعالجات، تقاس حالياً السعات التخزينية بواحدة Gigabytes حيث تختصر البادئة giga إلى الرمز G وهي تمثل المقدار 10^9، ويمثل البايت Byte سلسلة من الآحاد والأصفار المستقلة التي تجتمع معاً لتمثيل رمز خاص أو جزء من المعلومات، أما سرعة المعالج فتحدد عن طريق تردد تشغيل

الجهاز والذي يقاس بواحدة GHz gigahertz حيث يمثل 1Hz عملية واحدة في الثانية (ملاحظة: هذا المقياس لم يعد دقيقاً خاصة في المعالجات الحديثة التي تعتمد تقنية تعدد الأرتال hyperthreding).

تعد شريحة المعالج بحد ذاتها أعقد مكونات الحاسب من الناحية التقنية، مع مرور الزمن تصل البيانات محولة إلى الشكل الرقمي آحاد وأصفار جاهزة للمعالجة، ويتولى نظام التشغيل وظيفة التحكم بكيفية تحرك البيانات داخل الحاسب، ونظام التشغيل عبارة عن مجموعة من التعليمات (البرنامج، وبدقة أكبر بروتوكول برنامج) التي يتبعها الحاسب للقيام بالمهام الأساسية مثل طريقة الحصول على التعليمات للقيام بالمهام الأكثر تعقيداً.

يقوم نظام التشغيل بقيادة المكونات الإلكترونية ضمن شريحة المعالج، وهذا ما يجعل من نظام التشغيل محدداً لتصميم خاص من الحاسبات.

في الواقع اتفق المصنعون على عدد من المعايير القياسية المشتركة، فهناك عدد محدد من أنظمة التشغيل الرئيسية، والكثير من المكونات الصلبة المتشابهة على نطاق واسع، وينتج عن ذلك محطات عامة لمعالجة البيانات يتم تخصيصها فيما بعد لأداء مهمة معينة وذلك عن طريق تحميلها ببرنامج خاص. هذا البرنامج يمكن أن يكون معالجاً للنصوص أو برنامجاً للتحكم بآلة ما (روبوت أو عملية صناعية كبيرة) أو، ببساطة، إجراء الحسابات وإظهار النتائج.

تمكن قوة المعالجة والبرمجيات والتسهيلات الأخرى المتوفرة المستثمر من خلق برمجياته الخاصة بأغراضه واحتياجاته، وبالتالي تجعل من الحواسب أدوات متعددة المهام بلا حدود، وبازدياد قدرات المعالجة، فإن المستثمر سيجد الطرق المناسبة لاستخدام القدرات الاضافية وتوظيفها بشكل أفضل وأكبر. مع مرور الوقت تتناقص تكاليف هذه التكنولوجيا وقد أسفرت هذه التقانات عملياً إلى تضمين الحواسيب في أجهزة محمولة باليد أو في الهواتف، والتطور مازال مستمراً.

الحواسيب المنزلية والمكتبية

يتكون الحاسب المألوف للكثيرين من علبة يصل حجمها من $4\text{-}6\ dm^3$، ولوحة مفاتيح وشاشة، وبالرغم من وجود العديد من الشركات المنتجة للحواسيب، فإن تصميم الحاسب الشخصي PC يعتمد على التصميم العام لشركة IBM، وبالفعل فقد ظل ولفترة طويلة يعرف بالتصميم المتوافق مع IBM.

يمثل نظام النوافذ Windows من شركة ميكروسوفت Microsoft نظام التشغيل الأكثر انتشاراً، وهو منتج حقق انتشاراً واستخداماً واسعاً بالتزامن مع تسويق المكونات الصلبة.

تعمل معظم الحواسيب المنزلية والمكتبية بنفس الأسلوب نسبياً وذلك ناتج عن تشابه تصاميم المكونات الصلبة وكذلك وجود نسخ متشابهة من البرمجيات، وهذه ميزة واضحة لصالح المستثمر. تستخدم حواسب Apple أنظمة تشغيل ومكونات صلبة مختلفة، ويدعّي مستخدموها والمدافعون عنها بشكل دائم بأنها الأفضل تكنولوجياً لأداء المهام، ولكنها تعد من الأنظمة قليلة الاستخدام حالياً.

يعد الحاسب كجهاز مستقل أداةً فعالة، حيث يمكن استخدامه في الحسابات وفي تهيئة المواد الطباعية ومعالجة الموسيقى والعديد من المناشط الأخرى، ولكن تتجلى قوة الحواسيب الكامنة عندما يتم ربطها مع بعضها البعض عبر الشبكات، حيث تسمح الشبكات بوصول عدد من المستثمرين إلى ذات البيانات المخزنة مركزياً ضمن معالجات ذات سعات تخزينية عالية للبيانات تدعى المخدمات Servers.

يمكن في مكتب ما التشارك على الأجهزة الطرفية كالطابعات مثلاً بين جميع مستثمري الشبكة، ويسهّل ربط الحواسيب عبر شبكة ما عملية تراسل المعلومات، حيث يمكن أن يتم ذلك فيما بين طاولتين متجاورتين ضمن مكتب واحد، أو أن يتم بين جانبي العالم المتباعد، وبنفس الأسلوب الذي يتم فيه إرسال الأصوات عبر أسلاك الهاتف عن طريق المقاسم الهاتفية أو الأقمار الصناعية، يمكن أن يتم تبادل المعلومات الرقمية من جهاز إلى آخر، حيث استخدمت الشبكات الحاسوبية البدائية نظام الهاتف بالفعل، وما تزال معظم الحواسيب المنزلية تستخدم هذا النظام

لتنفيذ الاتصالات، ولكن مع تزايد وتضخم عدد المستثمرين تم تخصيص توصيلات مخصصة لهذا الغرض فقط.

إذاً يشابه عمل الحواسيب هنا الأسلوب الذي يحول فيه المقسم الاتصالات الهاتفية إلى مقصدها، حيث يدير المسير Router تدفق المعلومات الرقمية عبر الأسلاك، ومن ثم تقوم الأقمار الصناعية بتوجيهها إلى مقصدها، ويعرف ربط الحواسيب على نطاق العالم باسم الإنترنت Internet حيث هناك ثبات في استخدام المعايير القياسية، وكميات ضخمة من المعلومات يمكن الولوج إليها بشكل حر عبر بروتوكولات شبكة ويب (world wide web).

إذاً هناك الكثير من المهام التي يمكن أن تؤديها الحواسيب لا يمكن سردها جميعاً، لكن يمكن تسليط الضوء على بعضها الأكثر أهمية والأكثر انتشاراً. من هذه المهام نذكر:

معالجة النصوص: وهذا يعني إنشاء وتحرير نص ما، وتنسيقه ضمن الصفحات، ومن المحتمل إضافة الصور، وأخيراً طباعة الناتج على الورق، يقوم الحاسب بقيادة الطابعة وكذلك يقوم بالتصحيح الإملائي ويمكن ترتيب النص Format بشكل تلقائي. إن ذلك أدى إلى استبدال الآلة الكاتبة كلياً في كل شيء حتى من أجل كتابة الفقرات القصيرة. تدعى عملية تنضيد الكتب والصحف والمجلات بشكلها الأكثر تطوراً وتقدماً بعملية النشر المكتبي (desktop publishing).

اللوائح المجدولة: هناك مهمة أخرى يمكن تنفيذها عبر الحواسيب المكتبية، ألا وهي اللوائح المجدولة (spread sheets)، وهي عبارة عن برامج لترتيب وتخزين البيانات بشكل يسهّل استخدامها، وهي كذلك مفيدة في توليد المخططات البيانية وتنفيذ الحسابات.

البريد الإلكتروني: في الأيام الباكرة، كانت الحاجة لإرسال الرسائل من حاسب لآخر مجرد تساؤلات، أما اليوم فهي عمليات مستخدمة على نطاق غير محدد ضمن الشبكات الحاسوبية. أدت إمكانية إرسال المعلومات لعدد كبير من المستخدمين، إلى التخفيف من الجهد الذي يبذله المستثمر في تحسين نوعية المعلومات التي يتم إرسالها.

يمكن للمستثمر إرفاق ملفات من أنواع أخرى مع رسالة البريد الإلكتروني التي يمكن اعتبارها والحالة هذه كعنوان للرسالة.

قواعد البيانات: تستخدم قواعد البيانات من قبل الشركات في الغالب كنواة لها حيث تشكل صميم عملها، فعلى سبيل المثال في شركات الطلبيات البريدية، يمكن أن تضم قاعدة بيانات واحدة أسماء وعناوين جميع الزبائن، وقوائم بالمبيعات، وقوائم بالطلبيات الحالية، وكذلك قوائم لموازنة الحسابات، كل ذلك يمكن أن يتم ترتيبه ضمن قاعدة بيانات الشراء أو طلبات البضائع (أو السلع) من المزودين.

يمكن أن تقوم الحواسب المحملة بقاعدة بيانات بتوليد الفواتير وملاحظات التوزيع وطلبات السلع الجديدة وطباعة قوائم مستودعية بشكل أوتوماتيكي. يمكن أن تمتلك شركات الخدمات العامة قاعدة بيانات لقراءات عدادات استهلاك الطاقة المترلية لتزويد الزبائن بتفاصيل استهلاك الطاقة، حيث يمكن استخدام هذه التفاصيل في حساب الفواتير، تحتفظ المصارف بمعلومات الحسابات في قواعد بيانات، وتستخدم أنظمة التوزيع المشتركة وعمولات البضائع من قبل المؤسسات المالية التي تضم كذلك قواعد بيانات ضخمة. العامل المشترك بين كل هذه الأمثلة هو كمية المعلومات الكبيرة المخزنة والمفهرسة، والبرامج المختلفة التي يمكن أن تعالجها أو أن تقوم بتحويل البيانات بغية إنجاز الإجراءات المرغوبة.

في الواقع تقود المعلومات الشمولية جداً المخزنة على الحواسيب في هذه الأيام إلى قوانين لحماية البيانات، فقد حصر أحد مقررات البرلمان البريطاني كيفية تناول البيانات الإلكترونية من قبل المؤسسات، وأعطى الأشخاص الذين يشكلون مادة البيانات حقوقاً معينة.

الحسابات الفنية: في المجال الهندسي، تشكل القدرة العالية على إنجاز الحسابات الميزة الأكثر فائدة، حيث يتم تمثيل بعض الحالات الحقيقية في الحياة (الخوارزميات) بنماذج رياضية يتم اختبارها في ظروف معقولة، يمكن أن يشمل ذلك نمذجة الأحمال الكهربائية في شبكة، ويمتد إلى حساب سماكة بعض العناصر المركبة في بدن الطائرة، يترافق التصميم بمساعدة الحاسب مع حزم الرسوميات التي تنتهي بالخرج المطبوع على الورق، وبالابتعاد عن التصميم نصل إلى أدوات آلات التحكم

الرقمي CNC حيث يتم التصميم والانتاج بشكل مباشر دون المرور بمرحلة النماذج التصميمية الأولية.

الصوت الرقمي والصور: بما أنه يمكن تحويل الصوت والصورة إلى النمط الرقمي، فيمكن عن طريق الحواسيب معالجة الموسيقى والأفلام، سابقاً كانت تسجل إشارة الفيديو بشكل تشابهي على أشرطة، أما اليوم فإن هذه المعلومات يتم تسجيلها رقمياً لذلك أصبحت عملية تحريرها وتهذيبها أسهل.

الحواسيب في التعليم وفي المنزل: على نطاق أضيق، تشكل الحواسيب أدوات تعليمية ممتازة في المدارس والمنزل، حيث يمكن استخدامها في المدارس لتعليم الأجيال الناشئة مهارات تعلم العمل على الحاسب وذلك في مراحل تعليمهم المبكرة على مستوى المدارس الابتدائية. وفر الربط إلى الشبكة العنكبوتية العالمية إمكانية الولوج إلى المعلومات مهما كان مصدرها، ويعد تعلم مهارة الوصول إلى هذه المعلومات من الأشياء الضرورية منذ السنوات المبكرة، أخيراً يمكن استخدام الحواسب في ممارسة الألعاب والتي ينحصر تعقيدها على مهارات المبرمجين فقط.

التأمين أو الحماية

تبرز الحاجة لحماية المعلومات نتيجة لإمكانية وصل الحواسيب مع الأجهزة الأخرى، ومع أن العديد من الأنظمة محمية بكلمة مرور، حيث تسمح نظرياً للشخص المخول فقط أن يلج إلى البيانات، فإن عدد من الخبراء في البرمجة (القراصنة) يمكن أن يجدوا طرقاً لتطويق كلمات المرور تمنح غير المخولين الوصول إلى البيانات الخاصة. تتعامل معظم المؤسسات الضخمة مع موضوع تأمين الحواسب على محمل الجد، وتستثمر في آخر التقانات التي تمكن من القضاء على هؤلاء القراصنة. وهناك تهديد آخر لأنظمة الحواسيب عن طريق الفيروسات Viruses، وهي عبارة عن برمجيات يمكنها تعديل أو حذف البيانات، ويمكن أن يتولد عنها آثار غير مرغوبة، حيث يمكن أن تتوضع هذه الفيروسات في أي حاسب موصول إلى الشبكة، وتنسخ نفسها إلى الأجهزة الأخرى، ويتم عادةً توليد برامج

الفيروسات في نظام ما إما عن طريق الرسائل الإلكترونية أو عن طريق تحميلها بشكل غير متعمد من الإنترنت، وتتوفر بعض البرمجيات القادرة على إزالتها أو الحماية منها.

الحوسبة الصناعية

بدون أدنى شك، أحدث الانتشار الواسع لاستخدام الحواسيب ثورة في طرق عملنا المكتبية وفي أساليب الترفيه والراحة في منازلنا، أما عمل الحواسيب في مجال الصناعة، الروبوتيك، عمليات التحكم فقد بدا إذا ما تمت مقارنته مع التطبيقات المكتبية والمنزلية أقل تحولاً، لكنه بالنسبة للصناعيين، مؤثر وتأثيره ذو أهمية. فهناك بعض الآلات التي مازالت تعمل منذ الثورة الصناعية وتقوم بأداء الوظائف التكرارية أو الوظائف المجهدة حيث تم تجديدها بالطبع بإدخال أساليب التحكم. مرة أخرى، تعتبر الحواسيب أدوات تحكم، وهي في هذه الحالة تقوم بمعالجة المعلومات المعبرة عن سمات عمل الآلة. سابقاً، اعتمدت الآلات المؤتمتة على لوح من الريليات الإلكترومغناطيسية لأداء مهمة وضع برنامج زمني اسمي لسلسلة من العمليات، وشبكة من الأسلاك الموظفة لملاحقة الإشارة الصادرة عن حساسات خاصة لتؤثر في مخدمات معينة في إشارات الخرج، حالياً تم استبدال تلك الألواح الكبيرة من الريليات بما يسمى المتحكمات القابلة للبرمجة PLC.

المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (programmable logical controllers): يمكن اعتبار المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة PLC بمثابة حاسوب صغير ذي مداخل ومخارج، يمكن ربطه مع دارات خارجية، كما يحوي معالجاً يقوم بالتحكم بالمخارج كتوابع لإشارات الدخل، وذاكرة لتخزين البرامج، يمكن أن تشمل مكوناتها غير الظاهرة الشاشة أو لوحة المفاتيح، حيث غالباً ما يتم استبعادهما بعد الانتهاء من عملية البرمجة، وذلك لانتفاء الحاجة لهما خلال تأدية PLC لمهامها. تمتاز PLC بعدد من الإيجابيات مقارنة مع ألواح شبكة توصيل الريليات الصلبة، فهي أصغر بكثير إذا ما تم تناول معالجة الطاقة في واحدة الحجم، وباعتبار عدم احتوائها على مكونات متحركة، فهذا يجعلها الأكثر طلباً عندما تتم المفاضلة بناءً على

الأحجام الأكبر، وكذلك فإن تغيير المنطق المخزن فيها عملية سهلة وخاضعة لرغبة المستثمر، وتتم بسهولة عن طريق تحرير البرنامج بواسطة لوحة المفاتيح. يمكن أن تكون المتحكمات القابلة للبرمجة ذات مداخل رقمية من المفاتيح أو مداخل تشابهية من حساسات درجة الحرارة والضغط والتدفق على سبيل المثال.

توفر أوامر المعالجة المتاحة خدمات لكافة المتطلبات الصناعية، حيث تستطيع إنجاز مهام التحكم المنطقي والربط، وتسمح بوضع تسلسل لمختلف العمليات الموجودة في منشأة ما، أو تسمح بالتحكم بعمليات التدفق وذلك باستخدام خوارزميات PID (التحكم التناسبي-التكاملي-التفاضلي).

تم إنتاج مكونات PLC على نطاق واسع من قبل عدد من المصنعين، حيث يمكن أن تكون هذه الأداة محتواة بالكامل ضمن علبة واحدة مناسبة للتركيب ضمن صندوق صغير ومزودة بنهايات طرفية للمداخل والمخارج مرتبة على طول أعلى وأسفل الغلاف الخارجي.

يمكننا بناء النظم الضخمة انطلاقاً من عدد من المكونات (Components) حيث يمكننا تجميع وحدة تغذية بالطاقة (Power module) جنباً إلى جنب مع وحدة المعالج وبعض وحدات الدخل الرقمي والتشابهي وبعض وحدات الخرج الرقمي والتشابهي. يمكن أن تكون بعض وحدات الخرج من القياس الصغير وذلك لتخفيض الحجم الكلي وإتاحة الإمكانية للتحكم بأحمال أكبر.

قد نضطر في بعض الأحيان إلى استخدام وحدات خرج من النوع "ريليه" أو وحدات خرج من النوع "ترانزستور" وهذا سهل بسبب الطبيعة المنفصلة (وحدات منفصلة) لنظام التحكم.

التحكم المتكامل: أينما استخدمت المتحكمات القابلة للبرمجة PLC، في أماكن العمليات الحرجة على سبيل المثال في الإيقاف الآمن لأنظمة المنشآت البتروكيميائية، فهناك حاجة إلى التكرارية بمعنى أن يتم استخدام واحدة أو أكثر من هذه المتحكمات أو الأنظمة بغية تأمين تابع التحكم. حيث تسمح العديد من الأنظمة بذلك عن طريق وصل معالجين أو أكثر مع بعضهما البعض. في بعض الأنظمة الثلاثية، تعمل

ثلاثة معالجات مع بعضها البعض حيث تعمل وحدات الخرج حسب الأوامر المرسلة من اثنتين من ثلاث قواعد، وهكذا يتم إهمال أية معلومات زائفة تصل من أحد المعالجات إذا ما ظهرت. يزعم المصنعون بأن هذه الأنظمة يمكن الاعتماد عليها بشدة حيث على مدى خدمتها لن تقوم بأي عمل سيء، أما الضمانة فهي تعتمد بشكل واضح على كيفية اختيار جهاز وأداة التحكم بعناية بشكل مبدئي.

شبكات المتحكمات القابلة للبرمجة: هناك ميزة أخرى لأنواع PLC الكثيرة وهي إمكانية تشبيكها، تماماً بنفس الأسلوب المتبع لرفع إنتاجية الحواسيب عند ربطها مع بعضها البعض حيث يمكنها التشارك على البيانات، وبالتالي يتيح ربط PLC مع بعضها البعض إمكانية مراقبة البيانات المعالجة.

يمكن ربط مجموعة من المتحكمات PLC في خط إنتاج عن طريق محطة تشغيل واحدة والتي يمكنها أن تكون لوحة تحكم محددة عن طريق نفس المصنع أو عبارة عن حاسب مكتبي قياسي يقوم بتنفيذ برمجيات خاصة، وقد يتطلب هذه الوضع القيام ببعض التعديلات التنفيذية أثناء عمل خط الإنتاج أحياناً، أما عندما تكون خارج الخدمة فيمكن القيام بتشخيص الأعطال، وإعادة برمجتها، وكذلك تتيح مراقبة التنفيذ الإجمالي للكميات المنتجة.

أنظمة PLC المحددة: تصنع أنظمة PLC الموصوفة أعلاه من عناصر قياسية محددة، حيث تكون برمجة هذه الأنظمة بسيطة وصريحة، ولا يتعلق أي من أجزاء المتحكم بالوظيفة التي سيؤديها، وهذا يقود إلى مجال واسع من القيم الجيدة، وهي بالتالي أنظمة يمكن الاعتماد عليها وتناسب مجال متنوع من التطبيقات، على كل حال هناك بعض المجالات التي يتم اللجوء فيها لأنظمة تحكم معينة مثل أجهزة التحكم بالعنفة الغازية حيث يتم تصميم جهاز تحكم خاص بهذه المنشأة من قبل مصنعي المنشأة الأساسية ويباع النظامان معاً.

يمكن احتكار خوارزمية التحكم من قبل صاحبها، فعند تهيئة بعض المعدات، لا تتاح للزبون إمكانية الوصول إلى شيفرة المصدر، لا يعتبر ذلك مهماً من أجل العمليات الاعتيادية ولكن من أجل خدمات الصيانة من قبل المنتج الأصلي فإن الوصول إلى الشيفرة أمرٌ ضروري حيث يمكن أن يدفع المصنّع كلفة إضافية مقابل

تلك الخدمة. تتم موازنة ذلك عادةً عن طريق اختصار تردد خدمات الصيانة الملحقة مع الأنظمة المتحكم بها عن طريق الحاسب.

التحكم بالمنشأة بأكملها: الأنظمة عالية المستوى بالنسبة للجميع هي تلك الأنظمة التي تقوم بالتحكم بكافة عمليات منشأة ما أو محطة طاقة، حيث غالباً ما يتم في مثل هذه الأنظمة توزيع عدة معالجات على كامل المنشأة، ومن هنا برز اسم نظم التحكم الموزعة Distributed control systems وهي عبارة عن أسلاك قصيرة نسبياً تمر من مجال أي أداة إلى أقرب المعالجات الموجودة إليه.

في الأنظمة الضخمة عادةً ما يكون هناك فائضاً من أجهزة التحكم وفائض من شبكات التوصيل فيما بينها وغرفة تحكم مركزية واحدة ذات عدد من الشاشات العاملة في نفس الشبكة. على الرغم من استقلالية كل المعالجات بشكل تلقائي وعدم حاجتها إلى الشبكة لتعمل، يتم عادةً استخدام الربط حتى يتم إرسال بيانات المنشأة ذهاباً وإياباً، وهكذا يمكننا رصد ومراقبة أية سمة من سمات المنشأة والتحكم بها من خلال نقطة واحدة.

تستخدم قوة الحوسبة في مثل هذه الأنظمة بهدف:

1. المحافظة على فعالية عمل المنظومة قدر المستطاع، حيث يمكن أن تقوم الخوارزميات بالضبط الذاتي للمنظومة بغية رفع أو زيادة الخرج إلى حده الأقصى، هنا يمكن تنفيذ أفعال تحكمية متطورة جداً.
2. التخفيف من أعباء العامل قدر المستطاع، حيث يمكن تقديم بيانات عن المنشأة من خلال مخططات محاكاة مع رسوم تمثل التدفق في الأنابيب أو سويات السوائل في الخزانات أو أوعية المفاعلات. يتم ربط الحالات الطارئة بشكل أوتوماتيكي مع معلومات خاصة بالمشكلة، وبالتالي تتم إدارة المنشأة بواسطة عدد أقل من العاملين.
3. تخزين كمية ضخمة من البيانات المتعلقة بعمل المنشأة غالباً بسبب الوثوقية. يمكن إنجاز كلتا المهمتين، تخزين المعلومات والتحكم بالمنشأة عند فصل المعالجات، ويتم بعد ذلك ربط هاتين المهمتين إلى الشبكة.

يتم في بعض المنشآت إدخال بضعة آلاف من القيم التشابهية، وعشرات الآلاف من الإشارات الرقمية إلى الشبكة بفاصلٍ زمني 5 s لكل عينة وذلك خلال عمر المنشأة بالكامل والمقدر بحوالي ثلاثون عاماً، وهذا ما يفرض الحاجة إلى كميات ضخمة من الوسائط التخزينية. اقتصادياً يفيد توفير هذه المعلومات الضخمة ووضعها بين أيدي مهندسي المنشأة في تسهيل أعمال الصيانة وتشخيص الأعطال والقيام ببعض التحسينات في الأداء وهي أمور لا تقدر بثمن.

تمتاز مثل أنظمة الحوسبة الصناعية الرئيسية هذه بإمكانية ربطها إلى شبكة مع بعض الحواسيب البرجية التي تنفذ برمجيات خاصة، وهي توفر لمدير المنشأة كم كبير من المعلومات عن المنشأة بوضعها الراهن في الزمن الحقيقي.

التجهيزات التي تعتمد على المعالج الصغري

أصبحت الآن عملية تصميم حواسيب تعتمد على المعالج الصغري عملية سهلة، زهيدة الثمن، وهناك العديد من المنتجات التي تحتويه، حيث أضاف ذلك عدد من المزايا لتلك المنتجات، وبالتالي القيام بالكثير من المهام من خلال بضعة مكونات.

تستخدم ريليات حماية الأنظمة الكهربائية المُعالجات الصغرية، كذلك تمتلك المقصورات المستقلة في مركز التحكم بالمحركات معالجات صغرية متكاملة للحماية ووحدات تحكم.

عند تصميم منشأة ضخمة، يؤدي استخدام المعالجات الصغرية إلى اختزال شبكة التوصيلات الموجودة، ويمكّننا من اختبار العديد من الأجهزة قبل وصلها وذلك من نقطة واحدة، ومع ذلك ولّد هذا التقدم للأنظمة المختلفة مجالات جديدة يجب التفكير بها بإمعان. إن جعل أحد الأنظمة الحاسوبية يعمل مع نظام آخر ليس بالعمل السهل دائماً، على الرغم من توفر معايير قياسية شائعة لمعلومات الاتصالات في النظم الصناعية، فإنه من الصعب أحياناً إجراء اختبار لتصميم جديد، بالإضافة إلى كتامة الجزء القابل للحركة في القرص الصلب، فإن الوسط الذي سيتوضع ضمنه الحاسب مهماً جداً.

يجب تكييف أماكن تواجد المخدم Server في الشركات، ويجب إنقاص منابع التغذية بهدف التخلص من الترددات العابرة العالية أو تغيرات الجهد أو التيار.

باعتبار أن انقطاع التغذية الكهربائية قد يتسبب بفقدان بعض البيانات أو إتلاف بعض الملفات، يتم عادةً تأمين وحدات عدم انقطاع التغذية. عند التركيب في موقع صناعي يجب إختيار ذلك الموقع بحيث يكون نظيفاً وجافاً وبارداً، وذلك لأن الحواسيب تستخدم إشارات ذات مستوى متدني، وبالتالي يمكن أن يتسبب التشويش الناتج عن عناصر الأجهزة الكهربائية الأخرى ببعض المشاكل، عندئذ إذا ما برزت هذه المشكلة يمكن استخدام كابلات الألياف الضوئية.

يعتبر حقل الحاسب والحوسبة عالماً قائماً بذاته، وقد أُدخلت عليه الكثير من المصطلحات وبطبيعة الحال برزت الحاجة لامتلاك بعض المهارات الواجب تعلمها.

يولد العمل مع الحواسيب والمعالجات الصغرية تحدياً جدياً وكذلك يؤمن بعض الفرص المثيرة، فقد أصبحت تقانة رخيصة الثمن، وتتجه دوماً إلى الانخفاض، في مقابل ذلك تتزايد قوة الحوسبة مع مرور الزمن، حيث أحدثت طرق عمل جديدة في المكاتب، وأحدثت في الصناعة تحسينات في الإنتاجية وتوفير في الكلفة من خلال الأتمتة.

لا تزال هناك العديد من التطويرات القادمة وخاصةً في مجال الحوسبة الجوالة، التي قد تحدث ثورة جديدة كما حصل في السنوات العشر الأخيرة.

7

التوليد الكهربائي

يمكن توليد كلاً من التيار المستمر أو المتناوب، غير أن تعدد استخدامات الأخير، وتوفر معدات توليده بأصناف ومستويات متعددة ومختلفة، ومتانة ووثوقية منشآت التيار المتناوب، جعلته المهيمن على المستوى العالمي. سنقوم في هذا الفصل بمناقشة مسألة توليد التيار المتناوب فقط.

نظرية المولد المتزامن

يتكون مولد التيار المتناوب بشكل أساسي من نظام حقل مغناطيسي يتم توليده بواسطة التيار المستمر، وعضو متحرض ذي ملفات ترتبط بنظام الحقل بغية تحريض جهد متناوب. يتم نقل هذا الحقل بالكامل، تقريباً، إلى الجزء الدوار من الآلة والذي تتم قيادته من منبع الطاقة الذي قد يكون إما عنفة بخارية أو غازية في حالة الوحدات الضخمة، أو محرك احتراق داخلي للمولدات صغيرة الحجم لنقل حتى 25 MW. يمكن أن يكون العضو الدوار أسطواني الشكل وذو نتوءات تعرف ببساطة بالأقطاب. يقوم العضو المتحرض بتوليد جهد الخرج المتناوب، وهو يشكل الجزء الثابت للآلة ويدعى بالعضو الثابت Stator. يكون الخرج ثلاثي الطور عادةً من أجل جميع الآلات الصغيرة جداً وبتردد 50 Hz في أوربا و 60 Hz في أمريكا الشمالية واليابان.

يعتمد شكل بناء الآلة بشكل كبير على مصدر الطاقة والسرعة، لتوليد إشارة خرج بتردد f هرتز عند قيادة الآلة بسرعة دوران n دورة/دقيقة، فإن المولد يجب أن يمتلك 2p قطب:

$$2p = 120\frac{f}{n}$$

حيث n هي سرعة التزامن، وتمثل سرعة دوران الحقل المغناطيسي الذي سيتم بواسطته توليد التيار بالتردد f ويدور في العضو المتحرض بثلاثة أطوار. يلاحظ بالتالي أن الآلات ذات السرعة المتدنية تمتلك عدداً أكبر من أزواج الأقطاب، ولهذا السبب يجب أن تكون ذات أقطار ضخمة حتى تكون ملائمة لذلك. بينما تكون الآلات ذات السرعة العالية ولمقدار طاقة مماثل أطول وذات قطر نهائي أصغر. توافق الآلات ذات السرعة الأعلى قطبين (p=1) وتكون السرعة 3000 r.p.m من أجل التردد 50 Hz أو 3600 r.p.m من أجل التردد 60 Hz.

يتحدد خرج المولد الكهربائي S عن طريق أبعاده وسرعة دورانه والأحمال الكهربائية والمغناطيسية كما يلي:

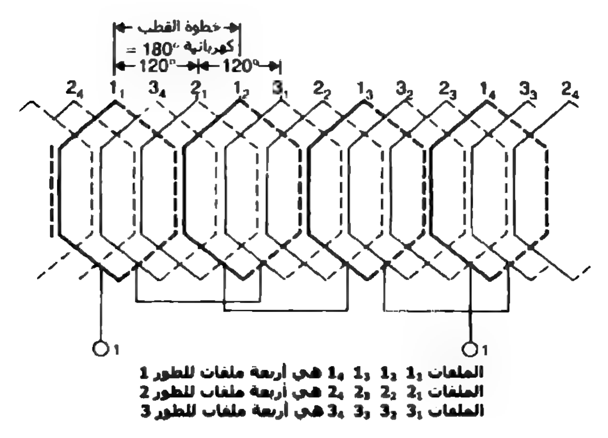
$$S = KD^2LnAB$$

حيث K ثابت، D قطر تجويف العضو الثابت، L الطول الفعال للعضو الثابت، A الحمل الكهربائي، B كثافة الفيض المغناطيسي في تجويف العضو الثابت. من أجل أي خيار معطى للمواد وطرق التبريد، تكون الأحمال الكهربائية والمغناطيسية (A و B) ثابتة بشكل أساسي. ولهذا يتم تصميم المولدات من أجل خروج مختلفة عن طريق اختيار أقطار وأطوال مختلفة لتجويف العضو الثابت، ويتعلق ذلك بالمقدرة على بناء الأعضاء الدوارة الموافقة، والقادرة على تحمل القوى الطاردة المركزية التي تزداد بازدياد الأقطار، ويجب تجنب أخطار السرعات العالية التي تتناقص بتناقص الطول.

كذلك من المهم تأمين التبريد الكافي لكل من العضوين الثابت والدوار، الأمر الذي يصبح أكثر صعوبةً كلما ازداد الطول.

معادلة القوة المحركة الكهربائية: لنأخذ بعين الاعتبار الملفات ثلاثية الطور ذات الطبقتين الموضحة في الشكل (7.1)، فلدى تحرك نظام الحقل عبر مسافة قدرها نصف خطوة القطب، تتغير القوة الكهربائية المتحرضة من الصفر حتى القيمة E_{max}. وبغض النظر عن كيفية توزع الفيض المغناطيسي في الفرجة الهوائية، فإن القيمة الفعالة (المجدية) ستكون $k1$ ضعف من القيمة المتوسطة، حيث يدعى $k1$ بمعامل الشكل لتوزع الفيض المغناطيسي.

بما أن أمواج توزع القوة المحركة الكهربائية والمتحرضة في أيٍ ناقل تُقطَع بواسطة حقل الفيض المغناطيسي المتحرك بسرعة ثابتة فسيكون له أيضاً نفس عامل الشكل.



الشكل (7.1) ملفات ثلاثية الطور ثنائية الطبقة

يعطى متوسط القوة المحركة الكهربائية (e.m.f) المتحرضة في هذا الناقل E_{av} بالعلاقة التالية:

$$E_{av} = \frac{\text{فيض القطع}}{\text{زمن القطع}}$$

والفيض الذي يقطع الناقل عند تحرك قطب النظام بنصف خطوة القطب $\phi/2$، حيث تمثل ϕ الفيض المغناطيسي الكلي لكل قطب، بينما زمن القطع هو ربع الزمن الدوري أي 1/4f sec وبذلك يكون:

$$E_{av} = \frac{\phi/2}{1/4f}$$

$$E_{av} = 2\phi f \quad \text{volts}$$

فإذا كان لدينا Z على التسلسل في كل طور، فإن الجهد الكلي الوسطي لجميع هذه النواقل مجتمعةً سيكون $2\phi Zf$ ، وسيكون الجهد الفعال:

$$k_1 E_{av} = 2k_1 \phi Z f \quad \text{volts}$$

ومع ذلك، فقد تم، لدى استنتاج هذه العلاقة، افتراض وجود إمكانية لجمع كافة القوى المحركة الكهربائية للنواقل الـــ Z بشكل حسابي.

في الواقع، يتم توزيع نواقل طور ما على شقوق متعددة وأيضاً وبشكل مماثل فإن عرض الملفات لن يكون خطوة كاملة. ولهذا السبب يجب أن يتم تخفيض القوة المحركة الكهربائية الطرفية عن طريق معاملات تأخذ الميل الفيزيائي للملفات بعين الاعتبار، وبالتالي تعطى e.m.f المتحرضة في كل طور بالعلاقة:

$$E_{ph} = 2k_1 k_2 k_3 \phi Z f \quad \text{volts}$$

حيث k2 معامل يأخذ بعين الاعتبار توزع الملفات على عدد من الشقوق ويعرف باسم معامل التوزيع. وk3 معامل يأخذ بعين الاعتبار حقيقة أن الملفات لا تملك خطوة القطب كاملة ويعرف باسم معامل باع Span الملف.

مفاعلات الآلة: بغية تحديد استجابة مولد ما لتغيرات الحمل أو التهييج أو عوامل أخرى، من الضروري وجود نموذج رياضي. وذلك يتطلب تعريفاً لقيم المقاومة والمفاعلات. بسبب فقدان التناظر للعضو الدوار للآلة حول محوره المركزي، فإنه من الطبيعي افتراض إمكانية تحليل هذه القيم إلى مركبتين وفق محاور متعامدة كهربائياً (تشكل بينها "90). بينما الزاوية بين أي قطبين متجاورين هي "180

كهربائية. تعرف هذه المحاور بالمحور المباشر أو اختصاراً المحور "d" ويوجه على طول الخط المركزي لأقطاب العضو الدوار، والمحور العمودي عليه أو "q" الممتد بين قطبين. ومن معرفة الشكل الهندسي للآلة، يمكن حساب القيم وفق كل من المحورين d و q.

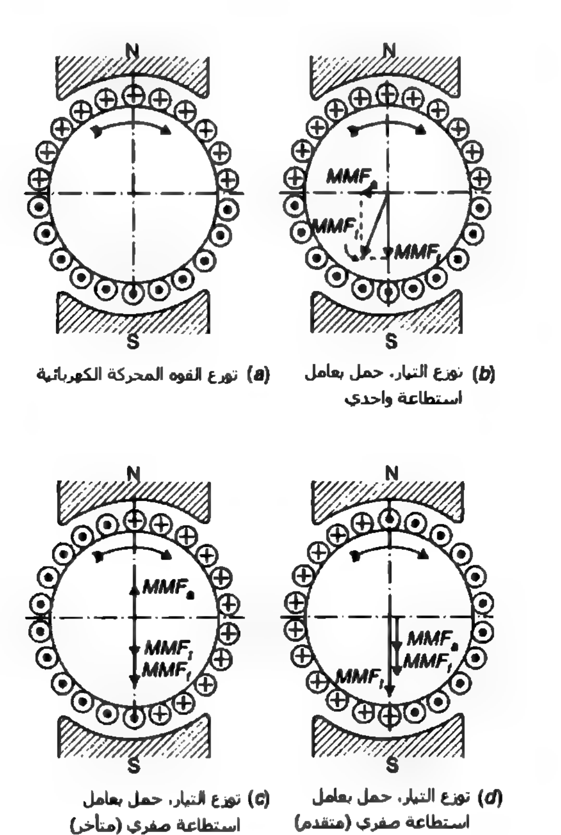
بالنسبة لقيم الفيض المغناطيسي المنخفضة، عندما تكون الممانعة المغناطيسية بكاملها في الفرجة الهوائية، يمكن القول بأن المفاعلات لن تكون مشبعة، وفي شروط الدارة القصيرة، لدى مرور تيارات عالية جداً، يمكن أن تشبع مسارات الفيض المغناطيسي في قلب العضو الثابت وجسم العضو الدوار، وقيم المفاعلات ستنخفض، وعندئذ تسمى بالقيم المشبعة.

مفاعلة التسرب: تنتج مفاعلة التسرب للعضو الثابت عن الفيض المغناطيسي المار على طول الفرجة الهوائية من سن إلى سن دون أن يدخل إلى العضو الدوار، أو يمكن أن تظهر من نهاية ملفات العضو الثابت. وبما أن هذه التسريبات في مسارات الفيض المغناطيسي مستقلة بشكل أساسي عن الوضع الزاوي للعضو الدوار، يمكن اعتبار قيم المحور المباشر والعمودي عليه قيم متساوية.

رد فعل المتحرض: يؤدي مرور تيار الحمل في ملفات العضو الثابت إلى توليد قوة محركة مغناطيسية m.m.f ، تنضم إلى القوة المحركة الكهربائية e.m.f الناتجة عن ملفات العضو الدوار لتقوم بتعديل الفيض المغناطيسي المفترض تحريضه بواسطة ملفات العضو الدوار بحد ذاتها، يسمى ذلك باستجابة (رد فعل) المتحرض.

عند عدم وجود حمل، بدون تيار العضو الثابت، فلا وجود لاستجابة المتحرض. عند وجود الحمل، تعتمد الطريقة التي يتم بواسطتها تعديل فيض التهييج عن طريق رد فعل المتحرض (العضو الثابت) على معامل طاقة الحمل. لنفترض أن الآلة أحادية الطور ذات قطبين كما هو مبين في الشكل (7.2). يظهر الشكل (7.2.a) القوة المحركة الكهربائية الناتجة في الدارة المفتوحة بقطبية تتعلق مباشرةً بالأقطاب المتجاورة. أما الشكل (7.2.b) فيبين توزع التيار من أجل معامل استطاعة واحدي للحمل. وبما أن التيار والجهد متفقان بالطور فإن ذلك يماثل توزع القوة المحركة الكهربائية للشكل (7.2.a). تشكل القوة المحركة المغناطيسية m.m.f الناتجة عن العضو الثابت 90°

كهربائية مع القوة المحركة المغناطيسية الناتجة عن العضو الدوار، وبالتالي ينحرف الفيض المغناطيسي الناتج بزاوية تتحدد عن طريق المطال النسبي للقوى المحركة المغناطيسية لكل من العضوين الثابت والدوار.

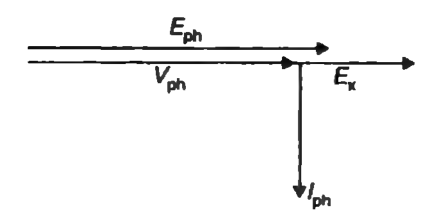


الشكل (7.2) رد فعل المتحرض في مولد للتيار المتناوب (منوبة)

في الشكل (7.2.c) يتخلف تيار العضو الثابت بمقدار 90°، وهذا يعني معامل تخلف طاقة صفري. من الواضح أن القوة المحركة المغناطيسية m.m.f الناتجة متفقة بالطور

مع القوة المحركة المغناطيسية m.m.f الناتجة عن العضو الدوار، وبالتالي فإن الفيض المغناطيسي الناتج سيكون منخفضاً بشكل ملحوظ. لأسباب مماثلة، يمكن الاستنتاج بأنه عندما يكون تيار العضو الثابت عند معامل تقدم طاقة صفري، فإنه سيكون هناك تزايد في الفيض المغناطيسي الصافي الشكل (7.2.b).

المفاعلة المتزامنة: يمكن تصنيف الآثار الموصوفة أعلاه كالتالي، لنفرض أن المولد يعمل مع معامل طاقة ذي تأخير صفري، بالتالي، يمكن تمثيل التيار I_{ph} المتأخر عن الجهد V_{ph} بمقدار "90 كما هو في المخطط الطوري المبين في الشكل (7.3). الآن، سيتقدم هبوط الجهد على مفاعلة التسرب (E_x) على التيار وذلك بمقدار 90° وبالتالي ستكون متفقة بالطور مع E_{ph}.



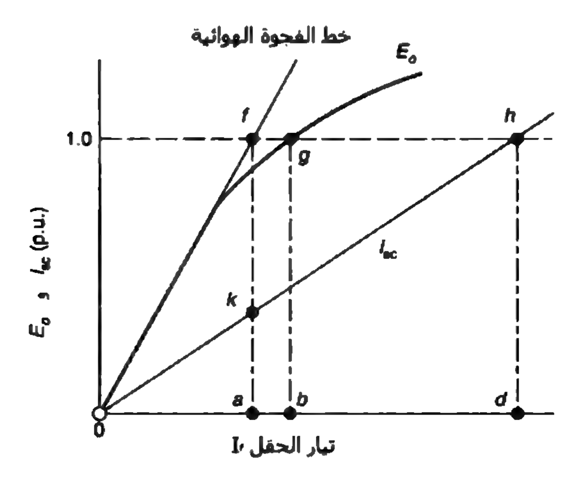
الشكل (7.3) المخطط الطوري من أجل عامل استطاعة صفري متأخر

لذلك فإن الجهد الطرفي V_{ph} يمثل الفرق بين E_{ph} و E_x.

على كل حال، يمكن التوصل مما سبق إلى أن مفاعلة المتحرض تقوم بتخفيض مباشر لفيض التهييج، وبما أن القوة المحركة الكهربائية المتحرضة فعلياً هي نتيجة لهذا الفيض المغناطيسي المختزل وليس لفيض الدارة المفتوحة، يتضح أن مفاعلة العضو الثابت (المتحرض) تمتلك نفس تأثير زيادة المفاعلة التسربية، لذلك يمكن إهمال مفاعلة المتحرض، ويتم افتراض قيم تخيلية للمفاعلة بحيث يكون لها تأثير محصلة تسرب المفاعلة ومفاعلة المتحرض. قيمة المفاعلة التخيلية هذه هي ما ندعوه بالمفاعلة المتزامنة.

المفاعلات العابرة وشبه العابرة: وهي قيم المفاعلة التي تقوم بتحديد مساهمة المولد في دارة قصيرة خارجية، (تحدد أيضا تأثير الأخطاء الخارجية على ملفات الآلة). المفاعلة شبه العابرة ويرمز لها بالرمز X'' هي الوسيط الذي يحدد مساهمة التيار الابتدائي الأعظمي، والمفاعلة العابرة ويرمز لها بالرمز X' تحدد تيار الأخطاء على سلم قياس زمني طويل.

ميزات الدارة المفتوحة والدارة المقصورة للمولد: يعتمد التنبؤ بأداء المولد في الحالة المستقرة على مميزات الدارة المفتوحة والمقصورة المبينة في الشكل (7.4).



الشكل (7.4) مميزات الدارة المفتوحة والمقصورة

في الدارة المفتوحة لأطراف العضو الثابت يتم رسم المنحني E_o بالفولت، بالنسبة لتيار التهييج I_f. عند سوية سرعة ما، توافق الفاصلة ob تيار الحقل من أجل قيمة الفولت bg ، يتناسب oa مع تيار الحقل اللازم لمقاومة الممانعة المغناطيسية للفرجة الهوائية و ab اللازم لتوليد الفيض المغناطيسي ضمن دارة الحديد. في الدارة المقصورة لملفات العضو الثابت، يمكن رسم تيار العضو الثابت مع تيار الحقل لإيجاد المنحني oh ، مثل تيار الحقل، يدور od بمستوي تيار العضو الثابت I_{sc}. تمثل ملفات

العضو الثابت في الدارة المقصورة الحمل وغالباً لعامل طاقة صفري متأخر على ضوء المقاومة المنخفضة جداً للملفات. يعاكس رد فعل المتحرض حقل القوة المحركة المغناطيسية m.m.f مباشرةً، وبالتالي فإن الفيض المغناطيسي الناتج سيكون صغيراً جداً وغير كاف لإحداث أي إشباع. لذلك يكون oh عبارة عن خط مستقيم. تعاكس القوة المحركة الكهربائية e.m.f المتحرضة في العضو الثابت E_{sc} والتي تدور بمستوي تيار العضو الثابت I_{SE} تعاكس مفاعلة تسرب العضو الثابت X_1 ، بإهمال مقاومة ملفات العضو الثابت يكون $I_{SC}.X_1$.

بما أن العلاقة بين I_{SC} وI_f هي علاقة خطية، وبما أن كلاً من E_{SC} و X_1 متناسب مع السرعة، فإن مميزات دارة القصر وكتقريب أولي تكون مستقلة عن السرعة، ومع ذلك يمكن الحصول عليها عادةً عند سرعة تقديرية.

بالأخذ بعين الاعتبار مميزات الدارة المفتوحة والدارة القصيرة، وبإهمال تأثيرات الإشباع ومقاومة العضو الثابت مرة ثانية، سيتضح بأن تيار الحقل للقيمة oa يولد قوة محركة كهربائية e.m.f تساوي إلى af في الدارة المفتوحة وإلى ak في الدارة المقصورة. إذاً، في الدارة المقصورة يظهر العضو الثابت وكأنه يمثل المفاعلة $E_0/I_{sc}=af/ak$ ، بثابت يظهر في المفاعلة المتزامنة غير المشبعة للمحور المباشر X_{du}.

أنواع المولدات

يتم تصنيف المولدات عادةً تبعاً للسرعة والبنية وفق المجموعات الآتية:

المولدات العنفية: تقاد بواسطة العنفات البخارية أو الغازية، وتغطي الطاقة المولدة مجالاً يمتد من بضعة MW وحتى 1300MW في المنشآت الضخمة. وهي في العادة آلات ثنائية الأقطاب ذات أعضاء دوارة أسطوانية يتم فيها احتواء الملفات ضمن شقوق محورية، ويتم تبريدها عن طريق دارة تبريد هوائية بواسطة تجهيز المراوح العمودية التي يمكنها سحب الهواء مباشرةً من المحيط الخارجي، أو يمكن استخدام الدارة المغلقة وهي ذات مبادلات حرارية ثانوية هواء/هواء أو هواء/ماء. أما المراتب الأضخم، لنقل أعلى من 200MW فيمكن تبريد كلاً من العضو الدوار والعضو

الثابت عن طريق دارة الهيدروجين، وتبريد ملفات العضو الثابت عن طريق تمرير ماء التبريد باتجاه الأسفل إلى الملفات الناقلة. ويجب أن يكون هذا الماء خالياً من المعادن (مياه غير معدنية) حتى يمتلك المقاومية الضرورية، وأن تصنع أنابيب المياه الموصولة مع ملفات العضو الثابت من مادة PTEF (راجع الفصل 3) وذلك لعزلها عن الجهود العالية بين ملفات العضو الثابت والمبادلات الحرارية الأرضية.

المولدات المائية: تقاد بواسطة عنفات مائية، وهي بشكل عام أبطأ من تلك المقادة بالعنفات البخارية أو الغازية. وتكون عادةً ذات قطب بارز ذي عدد كبير من أزواج الأقطاب وتعمل من أجل سرعات 1000 r.p.m ~ 50 بناءً على ارتفاع منسوب الماء المتوفر وعلى سرعة سقوطه. يمكن أن تكون الآلات ذات السرع الأدنى بأقطار كبيرة جداً توافق طول محور صغير. تمتلك مثل هذه الآلات عادة محور شاقولي مع مولد مركب فوق العنفة.

المولدات الصناعية: تستخدم بشكل واسع كمصادر طاقة احتياطية أو منابع تغذية مستقلة في المناطق النائية حيث مصادر التغذية العامة غير متاحة. وغالباً ما يكون محرك الديزل هو المحول الرئيسي للطاقة حيث يقود آلة ذات قطب ناتئ بسرعة تصل حتى 1500 r.p.m، ويمكن الوصول إلى معدل توليد للطاقة بحدود 12MW بواسطة آلات ضخمة وبسرعات أدنى.

المولدات التحريضية: تشابه المحركات التحريضية من حيث التركيب والبنية، وتستمد التيار الممغنط من منظومة الطاقة، حيث يمكنها توليد أكثر من 3MW في الخرج عندما تقاد بسرعات أكبر بقليل من السرعات المتزامنة حيث تصل إلى 1000 r.p.m.

بنية المولد

الأعضاء الدوارة: يصنع محور العضو الدوار عادةً من فولاذ الطرق ويحمل أفقياً على مضاجع كروية أو أسطوانية للمولدات الصغيرة، ومقعدية للمولدات الأكبر. غالباً ما يكون للمولدات المائية محور شاقولي ومضاجع دفعية مصممة لحمل وزن العضو الدوار واحتمال حمل مشغل العنفة معاً مع الضغط الهيدروليكي. في العضو الدوار

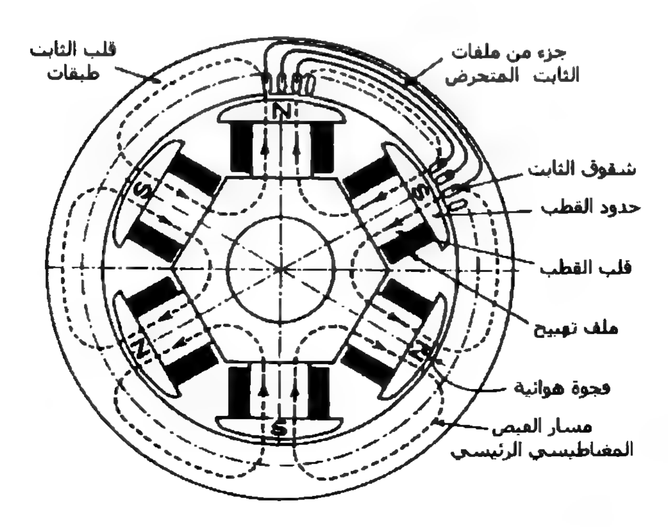
الأسطواني، تعمل الشقوق في جسم العضو الدوار على احتواء النواقل النحاسية التي تتشكل منها ملفات العضو الدوار، وكذلك هناك أوتاد عالية المتانة لوضع النواقل في موقع مضاد للقوى الطاردة المركزية العالية. تكون النواقل عادةً عبارة عن وشائع متمركزة حول قطب الخط المركزي الذي لا يتم شقه من أجل الملفات. في نهاية جسم العضو الدوار، يتم وضع الجزء الناتئ من الوشائع المتمركزة في موضع مناسب لمواجهة القوى الطاردة المركزية عن طريق حلقات نهاية عالية المقاومة وتمتد فوق الوشائع وتدعم من قبل نهايتي جسم العضو الدوار. يمكن أن تمتلك مولدات القطب البارز أجسام أقطاب مشكلة تكاملياً مع المحور أو قد يكون لها أجسام أقطاب مجمعة من رقائق فولاذية، وتربط إلى المحور عن طريق شقوق ذات رأس له شكل الحرف T.

يمكن أن يكون للمولدات ذات السرع البطيئة والأقطار الكبيرة التي تصل لأكثر من 10m إطار يربط بالبراغي ويحمل على طوق عنكبوتي من المحور. مرة ثانية تجمع أجسام القطب من رقائق فولاذية وتربط إلى إطار بأخاديد على شكل الحرف T أو ما شابه. يمكن للأعضاء الدوارة الكبيرة جداً أن تتجاوز حدود النقل باستخدام تعابير الوزن والأبعاد، وبالتالي تقسم إلى عدة أجزاء لتسهيل نقلها، أو يتم اللجوء إلى بنائها في موقع العمل.

ملفات العضو الدوار: تقوم ملفات العضو الدوار بحمل التيار المستمر بهدف تأمين الفيض المغناطيسي. يبين الشكل (7.5) المقطع العرضي لآلة نموذجية بقطب بارز، بينما يبين الشكل (7.6) المقطع العرضي للعضو الدوار الأسطواني لمولد عنفي. يوضح الشكلين توزعات الفيض بشكل مبسط.

يتضح من مخطط ترتيب ملفات الحقل لآلة القطب البارز، أنه من أجل آلة ذات عضو دوار أسطواني، يجب أن يتوزع حقل اللف عبر أخاديد تغطي جزء معتبر من وجه العضو الدوار. تقوم حقول اللف المنتظمة هذه بلعب دور جزئي في تحديد شكل موجة الفيض المغناطيسي في الفرجة الهوائية، والتي تتحول لتحديد شكل موجة الخرج للعضو الثابت. يساهم توزيع ملفات الحقل في أخاديد العضو الدوار بتشكيل موجة الفيض. يأمل مصممو الآلة باقتراب شكل موجة خرج العضو

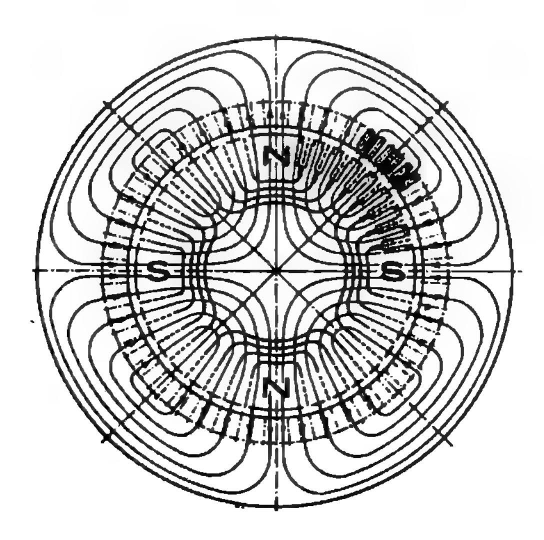
الثابت بشكل كبير جداً من شكل موجة sin قدر الإمكان. تشكل أوجه القطب في آلة ذات قطب بارز بحيث تؤدي إلى زيادة الفرجة الهوائية عند نهايات القطب. وهذا ما يساعد في تأمين الفيض المغناطيسي اللازم والذي سيكون من ناحية أخرى مستطيل مبدئياً، وبالتالي سيكون في مواجهة وجه القطب فيض مغناطيسي وبعيداً عن هذا النطاق لن يكون هناك أي فيض مغناطيسي.



الشكل (7.5) المكونات العامة لمولد التيار المتناوب ذي الحقل الدوار

قلب العضو الثابت: يصنع من رقائق معدنية رفيعة من صفائح فولاذية ممغنطة خاصة تقطع لتشكل الحلقات، مع الحلقات المقطعة من أجل المولدات الكبيرة، يتم كبس كل رقاقة من الصفيحة لتتخذ الشكل الجانبي الصحيح وتتضمن الأخاديد اللازمة لملف العضو الثابت وأي فتحات تهوية، ومن ثم يتم عزلها للتخفيف من ضياعات التيارات الإعصارية. يتم تشكيل الحلقات اللازمة على طول القلب من الرقائق، ومن ثم يتم ضغطها ووضعها ضمن إطار العضو الثابت لاحتوائها بشكل آمن. يمكن لأي رقاقة غير محكمة إذا ما اهتزت أن تسبب ضرر ملفات العضو الثابت، أو

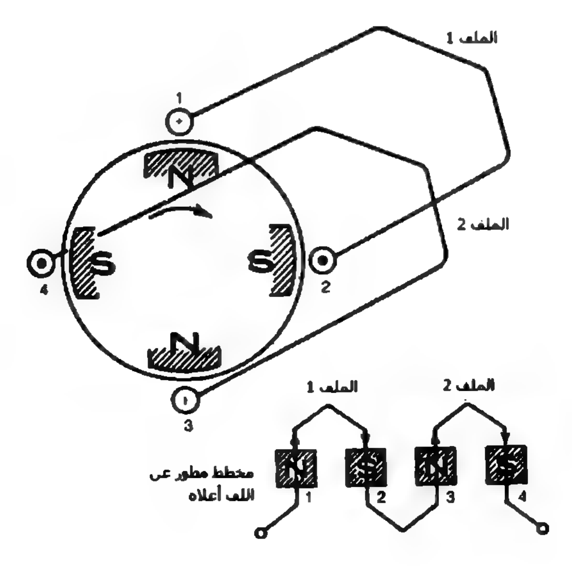
قد تتكسر الأسنان بين أخاديد الملفات. يجب الاهتمام بشكل خاص بقلب العضو الثابت للمولد ذي القطبين الذي يعاني من قوى ضاغطة في الاتجاه المتوافق مع الخط المركزي للقطب والذي يدور بسرعة التزامن. يمكن تجزئة قلب العضو الثابت للمولدات الكبيرة إلى أجزاء بهدف تسهيل عملية نقلها.



الشكل (7.6) مقطع عرضي للدوار الاسطواني لمولد عنفي

غلاف العضو الثابت: وهو يقوم بتثبيت قلب العضو الثابت والإطار إلى الهيكل المعدني، وينقل القوى تحت شروط العمل الطبيعية أو الشاذة، ويحوي ويوجه وسيط التبريد الذي قد يكون الهيدروجين للمولدات الكبيرة، عند ضغوط جوية تصل حتى 3-4 atm، حيث يقوم بتبريد جيد للعضو الثابت والعضو الدوار. ويجب أن يكون الغلاف ذا بنية كتيمة للغازات وذا سدادات إحكام خاصة حول محور العضو الدوار. وهي تتخذ شكل الحوامل المقعدية أو الدفعية التي تحوي الزيت بضغط عال يفوق ضغط الغاز وبالتالي سيكون هناك تسرب صغير للزيت إلى جهة الغاز.

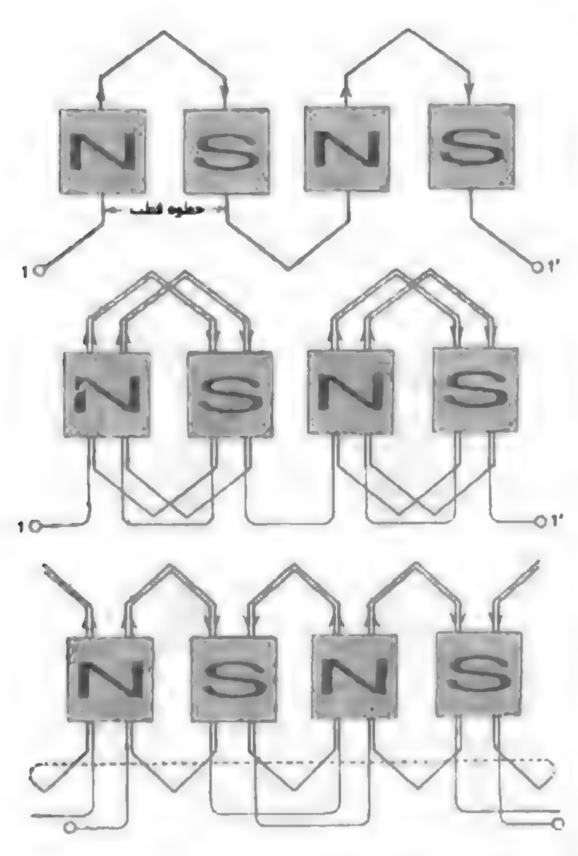
ملفات العضو الثابت: يظهر الشكل (7.7) ترتيب ملف أحادي الطور بسيط وذو ناقل وحيد موصول فقط لكل قطب، بالإضافة لجعل استخدام المحيط الموجود حول العضو الثابت ضعيف جداً، فسوف يولد قوة محركة كهربائية e.m.f صغيرة جداً في الخرج.



الشكل (7.7) مولد تيار متناوب أولي رباعي الأقطاب

يبين الشكل (7.8) طرقاً يمكن بواسطتها أن تتلاءم الملفات وتتوزع في الأخاديد المحيطة بالعضو الثابت. طبعاً يمكن عملياً للأخدود الواحد أن يحوي عدداً من النواقل وبالتالي يمكن بناء الملف بواسطة عدد من الملفات بحيث يحتوي كل منها على عدة لفات. يمتلك الملف المبين في الشكل (7.8.a) لفتان تتوزع كل منهما على أخدودين لكل قطب. يمكن من المخطط الملاحظة بأنه لمثل هذا الملف، فإن نهايات الملفات أو النتوءات تحتل فقط نصف محيط العضو الثابت. وهذا استخدام غير فعال للحيز وسيقود إلى آلة أكثر كلفةً. باستخدام ملفات أقل عرضاً بقليل من خطوة القطب كما هو

مبين في الشكل (7.8.b)، فإن النتوءات ستتوزع بانتظام على كامل المحيط. الملفات المبينة في الشكل (7.8) هي ملفات أحادية الطبقة لأن الأخدود الواحد لا يتسع إلا لناقل واحد فقط. معظم المولدات الحديثة ذات ملفات ثنائية الطبقة حيث يحتوي كل أخدود نواقل فيها على ملفين اثنين، وترتب بحيث يحتوي جانب النصف السفلي للأخدود ملف واحد بينما يتم احتواء الجانب الآخر في النصف العلوي من الأخدود العائد.



الشكل (7.8) الملفات المركزة والموزعة

الملفات ثلاثية الطور: الملفات الموصوفة أعلاه هي لآلة أحادية الطور. في آلة ثلاثية الطور، تشغل مجموعة ملفات كل طور قوس من "60 درجة كهربائية تحت كل قطب. بغية تحقيق الإزاحة الكهربائية بمقدار "120 فيما بين العضو الثابت الذي يحرض القوى المحركة الكهربائية، فإن الأطوار a و b ستشغل المواقع المحيطية والطور c الذي يتم وصله بقطبية عكسية سيشغل الوسط.

اعتبارات عملية: يتبع ترتيب الملفات بشكل فيزيائي لحجم الآلة. فالآلات الصغيرة العاملة تحت جهود متواضعة تستخدم ملفات عشوائية mush coils، وهي تلف من سلك دائري، معزول بطلاء، يوضع بشكل عشوائي ضمن أخاديد مفتوحة أو نصف مغلقة الشكل (7.9). العازل الرئيسي بين الملف والقلب عبارة عن أخدود خطي من البولي أميد Polyamide أو ورق الأراميد Nomex. الملفات ثنائية الطبقة إما ذات فاصل خطي لجانب الملف العلوي، أو ببساطة ذات فاصل بين نصفي الأخدود السفلي والعلوي.



الشكل (7.9) الأخاديد نصف المغلقة في محيط العضو الساكن للمولد

أما الآلات الكبيرة فهي ذات ملفات مشكلة من ناقل مستطيل. يمكن أن يقسم كل ناقل إلى عدد من النواقل الجزئية بغية التخفيف من ضياعات التيارات الإعصارية. ومن ثم يمكن عزلها بطلاء بالإضافة لغطاء ثخين من الزجاج المضفر أو زجاج

البوليستر. يمكن أن تنقل النواقل الجزئية على طول الملف الجانبي وبالتالي يكون لكل وصلة مستوى مماثل من الفيض المتسرب (المتولد عن تيار الحمل) وبالتالي بموازنة الفيض المتسرب يتم تحريض القوى المحركة الكهربائية. يمكن تشكيل الملفات كحلقات مستوية ومن ثم تشكل من خلال شكل له الطول الصحيح لأخاديد العضو الثابت وخطوة الأخدود المناسبة. يتم عزل اللفات البينية عادة عن طريق التغليف بعد مرحلة التشكيل تلك.

يتم بناء العزل الرئيسي عن الأرض للمولدات الضخمة عالية الجهد من مادة الميكا المتحدة مع راتنجات الإيبوكسي والتي تطبق بشكل مباشر على أكداس النواقل الجزئية ويتم ضغطها ومعالجتها لتعطي بنية متكاملة ذات خصائص ميكانيكية وكهربائية وحرارية ممتازة.

يبذل اهتمام خاص للمولدات الكبيرة جداً، تحت شروط العمل الطبيعية وكذلك في ظل شروط الأعطال والخلل، للقوى المؤثرة على النواقل في الأخاديد والنتوءات.

الاختبار

إن إخضاع جميع المولدات عادةً لبعض الاختبارات قبل مغادرتها المصنع هو جزء مهم من عملية بنائها. اختبار الحمل الكامل متعذر التنفيذ باستثناء المولدات الصغيرة. ويمكن أن يشمل الاختبار:

مقاومة الملفات

مقاومة العزل

الجهد العالي للملفات

تهييج الدارة المفتوحة

ضياعات الدارة المفتوحة

تهييج الدارة القصيرة

ضياعات الدارة القصيرة

ارتفاع الحرارة

القصر المفاجئ للدارة ثلاثية الطور

تجاوز السرعة

يمكن إرجاع البعض من هذه الاختبارات إلى اختبارات النوع، ويمكن أن تنفذ فقط على نوع واحد من المولدات وبتصميم خاص.

حماية ومزامنة المولد

تمتلك جميع المولدات شكلاً ما من أشكال الحماية الكهربائية بهدف وضع حد للأضرار التي قد تصيب المولد بسبب عطل داخلي أو خارجي يمكن أن يزيد من حالة الضرر. كما تهدف الحماية للحد من الاضطرابات في النظام الكهربائي الخارجي الناتجة عن أعطال المولد. يحدد مدى الحماية المطبقة عن طريق القيمة أي الحجم والمعدل للمولد واضطرابات النظام الكهربائي الخارجي. يمكن أن تتعلق الحماية بما يلي:

تفاوت المولد

تجاوز التيار

العطل الأرضي لملف العضو الثابت

العطل الأرضي لملف العضو الدوار

تعاقب تيار سالب الطور

ضياع التهييج

انزلاق القطب

انعكاس الطاقة

معدل تغير التردد

تجاوز أو انخفاض الجهد

تجاوز أو انخفاض التردد

تجاوز الفيض المغناطيسي

تجاوز التهييج

تؤدي الحماية بواسطة المعالج الصغري العديد من هذه المهام ضمن أداة واحدة، وبالتالي على المستثمر اختيار الحماية التي يود استخدامها. يمكن أن تملك المولدات الكبيرة نظام بقناتين يقوم بمضاعفة بعض وظائف الحماية ويعطي تغطية مغايرة لبعض أنواع الأعطال الأخرى. تستخدم بشكل واسع أدوات أو تجهيزات إجراء المزامنة الآلية التي تقوم بالتحكم بسرعة المحرك الأساسية للوصول إلى التردد وزاوية فرق صفحة الجهد المطلوبين، وتقوم بالتحكم بالجهد للوصول إلى سعة الجهد قبل إقفال كابح المولد بشكل أوتوماتيكي، يمكن الوصول إلى المزامنة ضمن حدود دقيقة.

الربط إلى الشبكة الكهربائية

تصل الجهود لحدود 11kv، يتم اختيار مستوى جهد العضو الثابت للمولد عادةً بحيث يكافئ جهد النظام الذي سيتم ربط المولد به. ومع ذلك، حتى عند هذه الجهود، فإن الخرج الصغير عند جهد عال أو الخرج الكبير عند جهد منخفض قد يجعل تصميم المولد غير اقتصادي. في هذه الحالات، حيث سيتم ربط المولد إلى منظومة نقل وتوزيع عالية الجهد، فإنه من المعتاد أن يمر خرج المولد عبر محول يقوم بملائمة تلك الجهود.

في هذه الحالات، فإن تصميم المولد يملك القدرة على أمثلة سوية الجهد أو التيار الذي تم اختياره. على سبيل المثال، من أجل مولدات 500MW و 660MW في بريطانيا، فإن مستوى جهود العضو الثابت للمولد هي من 22kv و 23kv، تعطى معدل تيارات العضو الثابت بحدود 15kA و 20kA. وهذه المعدلات للتيارات كبيرة جداً للربط مع الكابلات، لذا تستخدم قضبان توصيل بطور وحيد تتكون من ناقل ألمنيوم مجوف ضمن غلاف خارجي مؤرض من الألمنيوم. بذلك يتم عملياً استبعاد خطر أعطال طور لطور عند جهد المولد مع القوى والتيارات الكبيرة المرافقة. يقدم

استخدام محول المولد خيار التحكم بالجهد عند الربط مع النظام الكهربائي عن طريق تغيير جهد المولد أو المحافظة على جهد ثابت للمولد واستخدام مغير التفريع للحمل على المحول. تستخدم التركيبة الأخيرة في بريطانيا وتقدم مميزات ميل الجهد اللازمة مع طاقة تفاعلية مع تعديل مفاعلة المحول والسماح لمحطة الطاقة المساندة لأن تتغذى عن طريق وحدة محولة مرتبطة مع نهايات المولد بجهد ثابت.

تشغيل المولدات

تختلف خصائص تشغيل مولد التيار المتناوب بشكل طفيف عندما يعمل بشكل مستقل مقارنة مع عمله وهو مرتبط إلى منظومة كبيرة. الشكل الأخير بالطبع هو الطريقة الأكثر شيوعاً لعمل مولدات التيار المتناوب.

العمل بشكل مستقل: عندما يعمل المولد على تغذية الطاقة لمنظومة معزولة بشكل مستقل، فيجب أن تتم تغذية الطاقة المطلوبة لهذه المنظومة بواسطة المحرك الأساسي. وعندما يزداد طلب الطاقة فإن المولد سيميل مبدئياً للتباطؤ ولكن سيزداد تأثير حاكمة السرعة على وضعية الخانق للمحافظة على ثبات السرعة والتردد. وبطريقة مماثلة سيتحدد عامل استطاعة المنظومة عن طريق الحمل، ولكن إذا تغيرت شروط التحميل فإن ذلك سيقود إلى تغير عامل استطاعة المنظومة وسيتغير جهد خرج المولد بشكل مبدئي. وتتم المحافظة عليه ثابتاً عن طريق استخدام منظم جهد آلي يتحكم بالحقل. كاصطلاح، يمكن اعتبار عامل الاستطاعة المتأخر بأنه ضروري لتصدر الآلة أمبير- فولت تفاعلي (VArs) ويعتبر عامل الاستطاعة المتقدم ضروري لحاجة الآلة لاستقبال (VArs).

يؤدي عامل الاستطاعة المتأخر إلى هبوط في جهد خرج الآلة بالمقارنة مع عامل الاستطاعة الواحدي، وبذلك من الضروري زيادة التهييج (حقل التيار) للحفاظ على جهد المنظومة، سيتطلب عامل الاستطاعة المتقدم تخفيض في التهييج بالمقارنة مع عامل الاستطاعة الواحدي للمحافظة على ثبات جهد الخرج.

العمل في نظام كبير: عند ربطها إلى الأنظمة الكبيرة، فإن تأثير عناصر تحكم الآلة المستقلة على المنظومة ككل سيكون ضعيفاً. لأن فتح خانق المحرك الأساسي لزيادة طاقة دخل الآلة لا يؤثر على تردد المنظومة بل ستزداد الطاقة الصادرة عن الآلة، بينما تستمر في العمل عند سرعة التزامن. بشكل مماثل، لا تؤدي زيادة التهييج إلى زيادة جهد المنظومة لكن ببساطة يؤدي ذلك إلى زيادة VArs الصادر عن الآلة إلى المنظومة، وبذلك يتأخر عامل استطاعة الآلة أكثر. بنفس الأسلوب، يؤدي تخفيض تهييج الآلة إلى تحرك عامل الاستطاعة إلى الأمام أكثر. تخفيض التهييج أكثر سيؤدي إلى تقدم عامل الاستطاعة أكثر وقد يؤدي ذلك إلى عدم استقرار الآلة وانزلاق القطب. والحقل الذي قد ينظر إليه كوسيط تحويل أو نقل طاقة الدخل الناتجة عن المحرك الأساسي للعضو الدوار إلى خرج المنظومة المرتبطة مع العضو الثابت. إذا سمح لهذا الحقل بأن يكون منخفضاً جداً، فلن يكون قادراً على تحويل طاقة الخرج المطلوبة من قبل النظام. عادةً، بغية تجنب أية مخاطر لانزلاق القطب، يتم تحديد تقدم عامل الاستطاعة أثناء التشغيل بمقدار 0.7 عند الحمل الصفري وحتى 0.9 عند الحمل الكامل. وفي حالة ارتباط المولد مع المنظومة عبر محول المولد، يتم التوصل إلى تغيير الطاقة وبالتالي تغيير في التهييج عن طريق عمل مغير التفريع المحمول على المحول.

أنظمة التهييج

تعد منظومة تهييج المولد مصدر تغذية لحقل ملفات العضو الدوار. يؤدي التحكم لاستخدام التيار الناتج عن منظومة التهييج من قبل منظم الجهد الآلي الذي تم التعرض له مؤخراً. ويجب أن يضمن التحكم بحقل التيار عمل الآلة عند الجهد المطلوب أو، عندما يعمل المولد مرتبطاً مع منظومة كبيرة، بأن يتم استقبال أو تصدير المستوى المطلوب من kVArs أو MVArs.

يجب على المجموعة المكونة من منظومة التهييج ومنظم الجهد الآلي أن تقوم بالتالي:

- التحكم بدقة بجهد الآلة كاستجابة للتغيرات البطيئة في الطاقة أو VAR التبادلي المطلوب.

- الحد من مقدار انحراف الجهد كاستجابة للتغيرات المفاجئة للحمل.
- المحافظة على وضعية الاستقرار الثابتة.
- ضمان الاستقرار الانتقالي كاستجابة لأعطال المنظومة.

تحدد المتطلبات الثلاث الأخيرة إلى حد كبير نوع منظومة التهييج المستخدمة.

لسنوات عدة، كانت تتم الطريقة القياسية في تأمين تهييج التيار عن طريق استخدام مولد تيار مستمر مقترن بمحور الآلة المتزامنة. أما المولدات الكبيرة ذات السرعات العالية فالاقتران كان يتم عبر علبة سرعة تخفف من سرعات التهييج إلى 1000 أو 750 دورة/دقيقة بشكل نموذجي، وذلك بغية تبسيط البنية وتجنب مشاكل التبديل الكهربائي مع مولد التيار المستمر. يغذى خرج المهيج إلى العضو الدوار للآلة عبر حلقات منزلقة. وبشكل عام كان يتم تهييج المهيج نفسه بشكل مستقل بواسطة مهيج قائد مرتبط معه. ثم التحكم بتهييج المولد عن طريق التحكم بحقل التيار للمهيج الرئيسي.

التهييج بالتيار المتناوب: سمحت ولادة مقومات الحالة الصلبة بالتخلص من المبدل على المهيج d.c ، واستبداله بمولد a.c يعمل عند أي تردد مناسب ينتمي للمجال 50 إلى 250 Hz ويزود الخرج عبر حلقات منزلقة ليصار إلى تقويمه في حجرات لمتصلات ثنائية (ديودات) مركبة موضعياً. ومن ثم تتم تغذية خرج المقوم إلى العضو الدوار للآلة عبر الحلقات المنزلقة ومن ثم إلى منظومة التهييج d.c.

تتم تغذية حقل التهييج الرئيسي عن طريق مهيج قائد وهو مولد مغناطيسي دائم عادةً. والمهيج الرئيسي ثلاثي الطور عادةً وذو متصلات ثنائية (ديودات) مرتبة في دارة جسرية. تمتلك أذرع الجسر عادةً عدداً من المتصلات الثنائية على التوازي وتتم حماية كل متصل ثنائية بشكل مستقل عن طريق منصهرة لتتم إزالته من الدارة الكهربائية في حالة عدم تلبيته لشروط الدارة المقصورة. يمكن أن تتم التهوية عن طريق الهواء إما بشكل طبيعي أو قسري، أو في حالة الآلات الضخمة يمكن أن يتم تبريد المقوم بالماء.

التهييج بدون مسفرات: التقدم اللاحق في منظومة تهييج a.c الموصوفة أعلاه، مع متصلات تقويم ثنائية ضمن حجرات للمهيج، كان تركيب هذه المتصلات إلى عمود المهيج. يكون ملف خرج المتحرض لهذا المهيج على العنصر الدوار بينما يكون حقله على العضو الثابت. يتم وصل خرج العضو الدوار والذي يمكن أن يكون بتردد بين 150 و 250 Hz مباشرة إلى المتصلات المركبة على المحور. ويمكن أخذ الخرج منها إلى العضو الدوار للمولد الرئيسي مباشرةً. أما المهيج القائد، والذي قد يعمل لحدود 400 Hz فهو مشابه جداً للمولد المغناطيسي الدائم، أما المولدات الصغيرة فإن تغذية حقل المهيج يمكن الحصول عليها من نهايات المولد.

التهييج بواسطة الثايرستور: يمثل التهييج بالثايرستور التطور الأقصى لهذا الموضوع. يمكن التحكم بمقومات الثايرستور عن طريق التحكم المباشر بحقلٍ تيار المولد الواجب الحصول عليه بحيث يعطى استجابة سريعة جداً مقارنةً مع الاستجابة التي يمكن الحصول عليها عن طريق التحكم بحقل تيار المهيج، وهذا بالتالي يمكنٍ من الحصول على أعلى سرعة استجابة للمنظومة. ويمكن أن يكون ذلك مهماً بشكل خاص من أجل المنشآت حيث تكون الاستجابة السريعة للأعطال أو الاضطرابات حرجة بالنسبة لاستقرار المنظومة. تكمن سيئة هذه الوسائط في أنها لم تتطور بعد على المستوى التجاري للتركيب على المحور، والسبب يكمن في وجود صعوبات تتعلق بوثوقية تطبيق إشارات التحكم عليها من المعدات الساكنة. ولذلك من الضروري تأمين حلقات انزلاق أو مسفرات لربطها إلى العضو الدوار للآلة.

يمكن تأمين طاقة التهييج إلى حد ما بشكل تقليدي ومباشرة عن طريق ربط المهيج القائد والرئيسي معاً، أو تأمينها مباشرةً من نهايات المولد عبر محولة تخفيض. يتم اختيار نسبة محولة التخفيض عادةً لتأمين خرج كامل خلال وقوع خلل في النظام يؤدي إلى تخفيض جهد الآلة النهائي. ولهذا سيئة تكمن في قدرة مستوى عزل حقول الملفات على تحمل جهد التهييج العالي عندما تكون شروط المنظومة جيدة. يرتبط حذف التأخير الزمني بالمهيج ووسائط المهيج القائد حيث تكون المحولة التي تؤمن تهييج المنظومات ذات سرعة الاستجابة الأعلى على الإطلاق.

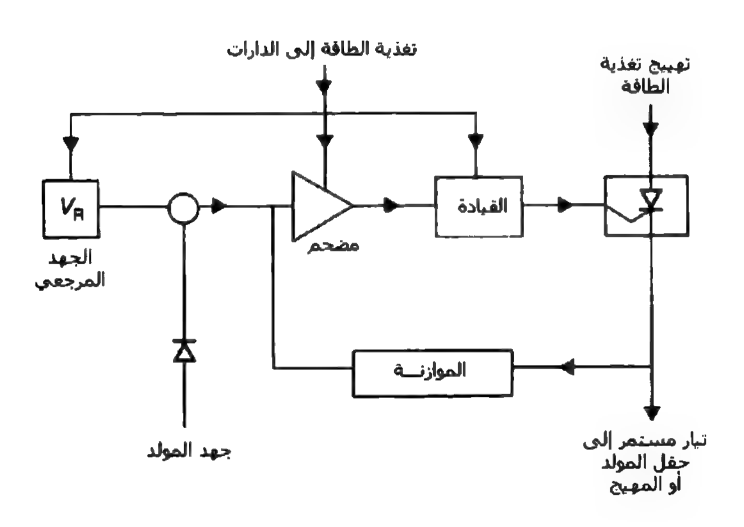
منظمات الجهد الآلية

كما تم التطرق إليه آنفاً، فإن الغرض من منظمات الجهد الآلية لمولد يعمل بشكل مستقل هو المحافظة على جهد حالة الاستقرار ضمن حدود معينة، وحصر تشتت الجهد الإضافي عند حدوث تغيرات مفاجئة في الحمل. بالإضافة لذلك، ومن أجل مجموعة من المولدات العاملة على التوازي، هناك حاجة لبعض أنظمة التحكم الإضافية لضمان مشاركة مرضية للحمل التفاعلي. في حالة آلة تعمل على التوازي مع مجموعة كبيرة من الارتباطات للمنظومة، فإن التحكم بالحالة المستقرة واستقرار الحالة العابرة هي مطالب إضافية هامة. وقد تبرز الحاجة لذلك عندما يكون التحكم اليدوي غير كاف أو مناسب ونحتاج لتطبيق التحكم الآلي.

المبادئ الأساسية: يتم الحصول على إشارة متناسبة مع الجهد الطرفي للمولد من الخرج المقوم لجهد المحولة وتقارن مع الجهد المرجعي المستقر الذي يتم الحصول عليه ضمن المنظم. يتم تضخيم أي فرق أو إشارة خطأ ومن ثم تستخدم لتغذية التهييج ورفع أو خفض دخل الملفات الرئيسي أو حقل التهييج، بشكل ملائم لتخفيض إشارة الخطأ إلى الصفر أو إلى قيم مقبولة. يمكن الحصول على جهد المجموعة الخاضعة للتحكم إما عن طريق التحكم بالجهد المرجعي أو عن طريق تحكم مناسب لجهد الآلة مقارنة مع الجهد المرجعي. هذا المخطط المبدئي موضح تخطيطياً في الشكل (7.10). بما فيه دارة الاستقرار لتجنب التذبذب.

مجال التحكم: تقوم المولدات عادةً بتغطية المجال من الصفر وحتى قراءة الخرج ضمن مجال جهد ±5%، وعند عامل استطاعة من 0.8-0.9 متأخر إلى 0.9 متقدم. يجب أن تؤمن إعدادات أجهزة التحكم المجال المناسب للتهييج وكذلك انخفاض الجهد إلى حدود 85% من القيمة الاسمية عند اللاحمل. دقة التحكم عادةً تقع بين ±2.5% و ±1% للقيمة الموضوعة خارج نطاق الحمل.

التحكم اليدوي: تتم إضافة التحكم اليدوي عادةً كاحتياط للتحكم الآلي على الرغم من أنه، وكما ذكرنا سابقاً، هناك العديد من الآلات الضخمة لا يمكنها العمل جيداً إلا مع التحكم، أما الإعداد اليدوي فيستخدم فقط في عمليات اختبار الجهاز.



الشكل (7.10) الدارة الأساسية لمنظم الجهد الآلي

يتم تزويد معظم المنظمات عندما تعمل بشكل آلي بأجهزة تعقب يدوية تضمن أن الإعدادات اليدوية تلائم الإعدادات الآلية، وبالتالي إذا حدث أي خلل للمنظومة الآلية وتسبب بالتحول إلى الإعداد اليدوي فإن ذلك لن يؤدي إلى أي تغير في نقطة التحكم. يمكن أن يتم التزود بعداد موازنة، بحيث أنه في حالة وجود إمكانية لإجراء تحويل يدوي، يمكن عندئذ إجراء اختبار قبل تفعيل هذا التغيير أو التحويل.

العمل على التوازي: يمكن ترتيب منظم الجهد الآلي لتأمين هبوط في الجهد الطرفي للمولد (ضعف جهد) لزيادة الحمل التفاعلي ولضمان مشاركة مرضية للحمل التفاعلي عندما تعمل المولدات على التوازي. ويكون عادةً بين 2.5% و 4% من هبوط الجهد على مدى الحمل التفاعلي الكلي.

حدود التهييج: إن حالات أعطال المنظومة والتي ينشأ عنها خلل في جهد المنظومة ستؤدي إلى قيادة منظم الجهد الآلي لرفع التهييج إلى قيمته العظمى وذلك في محاولة لاستعادة الجهد الاعتيادي. يتم التزود بمؤقت زمني لإعادة التهييج إلى الوضع

الطبيعي بعد عدة ثوان بغية منع التسخين المفرط لمنظومة التهييج في حال استمرار الخلل. ويجب أن يتم تنسيق ذلك مع منظومة الحماية الكهربائية للتخفيف من مخاطر انهيار جهد المنظومة.

يتم التزود بمحدد للطاقة التفاعلية أو محدد VAr لتجنب هبوط التهييج بشكل كبير، حيث سيصبح المولد غير مستقر. يتم ضبط الطاقة التفاعلية التي يحدث ذلك عندها بشكل آلي لاتباع حد الاستقرار كما يتحول جهد المولد وطاقة الخرج.

يتم تطبيق حدود وقيود أكثر على الطاقة التفاعلية عندما يتم التحكم بالتهييج بشكل يدوي. عندما يعمل المولد بين هذه الحدود المقيدة وحدود استقرار التحكم الآلي فإن ذلك يتطلب أن تكون إعدادات التحكم اليدوي مقيدة ضمن إعدادات ليست أدنى من الحدود اليدوية ولذا سيتعثر التحكم اليدوي، وبالتالي فإن تهييج المولد سيرتفع إلى المستوى الآمن. في ظل هذا الوضع، سيكون هناك خطأ ثابت في مؤشر الموازنة، يتطلب عامل تصحيح.

الوقاية من فرط الفيض: من المرغوب عملياً بقاء منظم الجهد الآلي في الخدمة عند إيقاف عمل الآلة ومن ثم إعادة تشغيلها. بغية تجنب إفراط الفيض للآلة وأي مولد أو وحدة تحويل متصلة، فإن الحماية ضد إفراط الفيض من قبل منظم الجهد والتي تعرف أحياناً بحماية V/f ستعمل على ضمان انخفاض معدل سرعة التهييج بمقدار 95% سوف يتناقص على الأقل بشكل متناسب مع التردد.

منظمات الجهد الآلية ثنائية القناة: يمكن أن تمتلك المولدات الضخمة منظمات جهد آلية ثنائية القناة، والتي تكون فعلياً ذات مجموعتين من معدات التحكم. كل قناة قادرة على أداء مهمة التحكم بشكل مستقل، وكذلك يمكن أن تعمل إما على التوازي أو في النمط الرئيسي أو الاحتياطي. وعند انهيار إحدى هاتين القناتين تتصدى الأخرى لأداء الواجب بشكل مستقل ويبدأ الإنذار.

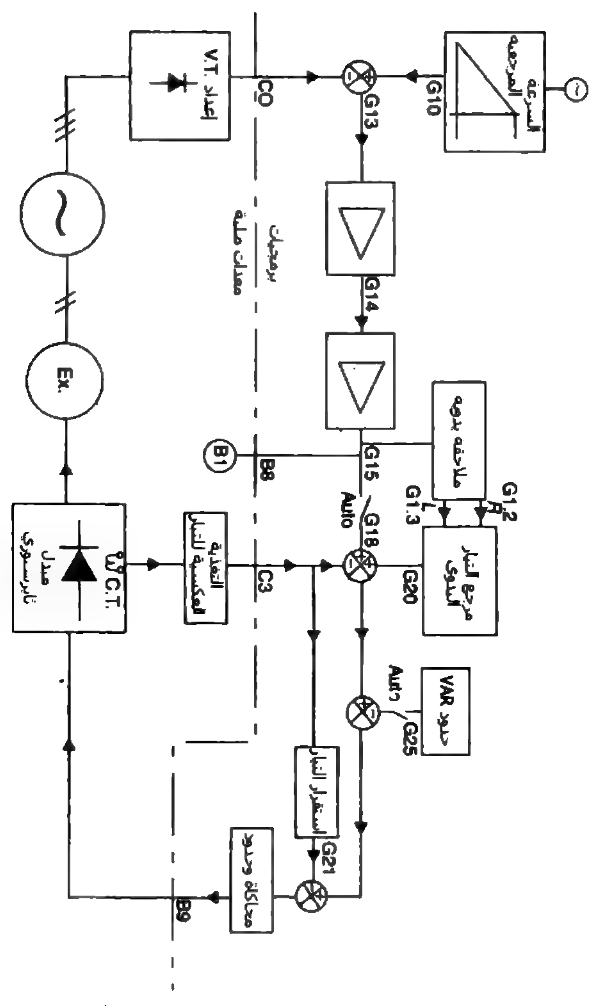
منظمات الجهد الآلية الرقمية: بالرغم من تعقيد بنية منظمات الجهد الآلية الموصوفة أعلاه، فما تزال هناك مسائل مخاطر الوثوقية بسبب انهيار بعض تماسات العديد من الريليات الكهروميكانيكية المدمجة. وقد كان من أولويات واعتبارات الجهود

المبذولة لتحسينها هو استبدال آلية الريليه بنظام رقمي. وقد تحقق ذلك بشكل أولي من خلال استخدام سلسلة من المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة PLC، والتي يمكن استخدامها بمداخل تشابهية و رقمية. وفيما بعد بدا جلياً وجود إمكانية بناء جميع التجهيزات الإلكترونية اللاحقة لتعمل في النظام الرقمي. ويمكن برمجة الخصائص الفيزيائية المطلوبة لمنظم الجهد الآلي رقمياً ضمن معالج يمكن اختياره عن طريق عمليات التمثيل الرياضي Simulation في المصنع قبل تركيبه في الموقع. حيث يمكن التخلص من المشاكل المصادفة مع المضخمات التشابهية كالانحراف والضجيج و/أو المسائل المتعلقة بوضعية المقاومات المتغيرة. يبين المخطط المبسط في الشكل (7.11) مبادئ العمل الأساسية. تستخدم معظم المنظومات الحالية للتحكم بالتهييج فلسفة العمل الأساسية هذه.

توليد الطاقة الكهربائية للتغذية العامة

لا يكتمل وصف أي مولد للتيار المتناوب دون اختبار الوسائل التي تقوده، وذلك لأن تصميم عمل منشأة التوليد يتضمن المزاوجة والمكاملة فيما بين المولد والمحرك الأساسي. جرى التنويه للتو، على سبيل المثال، إلى الفارق الأساسي بين المولدات العنفية والمولدات المائية والذي يظهر بسبب الفرق في السرعة أو الدوران. معظم المولدات المستخدمة على نطاق واسع لتوليد الطاقة هي المولدات العنفية، ولعهد قريب كانت تقاد بواسطة العنفات البخارية. حالياً هناك تزايد كبير في استخدام العنفات الغازية كمصادر للتغذية بالطاقة الكهربائية في جميع أنحاء العالم. ومن المصادر التي يمكن استخدامها لتوليد الطاقة الكهربائية نذكر:

- المحطات العاملة بالفيول أو الفحم
- العنفات الغازية
- العنفات الغازية المشتركة مع العنفات البخارية
- الطاقة النووية



الشكل (7.11) مخطط صندوقي مبسط لحلقة التحكم بالجهد (أحادية القناة)

• التوليد الكهرومائي

- وهناك الطاقة المتولدة عن المصادر المتجددة كطاقة الرياح، الحرارة الجوفية، طاقة المد، طاقة الأمواج، والطاقة الشمسية.

بالإضافة إلى مصادر أخرى للطاقة بدأت تدخل هذا المجال مؤخراً مثل الغازات الناجمة عن حرق النفايات أو مخلفات الصرف الصحي.

التوليد الصناعي

توظف منشآت التوليد الصغيرة لعمل الحمل القاعدي كمصادر طاقة بديلة أو كمصادر طاقة متحركة ومؤقتة ويمكن قيادتها بواسطة عنفة غازية أو بخارية أو مجموعة محرك ديزل، كذلك يمكن لبعض منشآت التوليد ذات معدلات الطاقة الأعلى أن تربط عملية إنتاج البخار مع الحرارة.

تستخدم مجموعات التوليد التي تعمل على الديزل أو العنفات الغازية كمصادر أساسية للطاقة في الأماكن التي تبعد مسافات كبيرة عن مصادر التغذية العامة. على سبيل المثال: تغذية محطات ضخ المياه وأنابيب النفط وحقول النفط والمنارات وأنظمة التصريف والمنظومات الدفاعية.

تستخدم في بعض الجزر كجزيرة Channel وجزيرة Man والدول ما وراء البحار مجموعات توليد الديزل لتغذيتها بالطاقة، وهذه المجموعات ذات قدرة توليد من مرتبة 20MW أو أكثر.

أما التطبيق الأكثر أهميةً لمنشآت التوليد الصغيرة، فهو بدون شك، استخدامها كمصادر طاقة احتياطية. وقد تم التشديد على ذلك بشكل خاص بين عامي 1971 و 1972 عندما عانت الأسواق العالمية من عجز كبير في الطاقة. فقد يسبب فقدان الطاقة الكهربائية خطراً على الحياة كما هو الحال في غرف العمليات الجراحية في المشافي أو في المنشآت النووية، لذلك برزت أهمية المصادر البديلة للطاقة. ففي الحالة الأولى يتم التزود بالطاقة عن طريق مجموعة توليد آلية الإقلاع عاملة بالديزل، بينما في الحالة الثانية يتم استخدام مولدات ديزل كبيرة أو مولدات عنفة غازية. يمكن أن تتعرض الصناعة كذلك إلى معاناة قاسية جراء انقطاع الطاقة، حيث تتولد سلسلة

متعاقبة من الضياعات في الإنتاج وفي العديد من الحالات ضرر المنشآت المنتجة بينما تكون العمليات المستمرة مشمولة. يقوم المصنعون بتركيب منشأة طاقة احتياطية إما عن طريق شبكة طاقة احتياطية أو بديلة ويتم التبديل بشكل آلي ويعزز ببطارية تغذية عدم انقطاع الطاقة UPS أو مولد مقاد بمحرك ديزل.

البنية: يختص عدد من الشركات البريطانية بتصنيع مجال قياسي من مجموعات التوليد. وبينما يتم تفصيلها لتطبيق معين، فإن إيجابية استخدام المجال القياسي تتجلى في توفر قطع الغيار والسهولة النسبية التي يتم بها القيام بالإصلاح السريع عند العطل. تضم مجموعة التوليد الأساسية محرك مرتبط بمسفرات مولد التيار المستمر تكتمل بمهيج معلق ومشع ومروحة لتبريد المحرك مركبة على الهيكل، ولوحة تحكم ومنظم جهد وحاكمة إلكترونية للسرعة.

يعد استخدام محركات الديزل ذات التبريد المائي الأكثر شيوعاً، وذلك بسبب بنيتها المتينة ونفقاتها الاستثمارية المنخفضة، وخاصة الإقلاع السريع. يمكن كذلك أن تتضمن شاحن عنفي يؤمن سويات طاقة أعلى ومردود أعلى، ويجب أن يضُم كل محرك ديزل مشع أو مبرد هوائي، حمايات وقائية للأجزاء المتحركة، حاكمة لتنظيم سرعة المحرك، ولذلك يمكن تبديل تردد المولد، الوقود، مصافي الهواء أو الزيت أثناء الخدمة.

تضم غالبية المجموعات منظومات إقلاع كهربائية تشمل عادةً على عناصر تحكم بالإقلاع، بطارية ومقلع. يمكن أن يقلع البعض منها بواسطة مفتاح كهربائي من لوحة التشغيل، والبعض الآخر يقلع آلياً لدى حدوث عطل في الشبكة. من ناحية أخرى، تقلع محركات الديزل الأكبر (حوالي 2MW) عن طريق الهواء المضغوط. يبين الشكل (7.12) مولد ديزل آلي بشكل كامل.

يجب أن تضم مجموعة التوليد خزاناً للوقود وأنابيب لنقله، علبة عادم غازات المحرك، معدات المحرك، وأدلة (وثائق) العمل والتشغيل وبراغي الشد للهيكل المعدني والملحقات المضادة للاهتزازات. أما المجموعات الآلية بشكل كامل فتتضمن أيضاً لوحة منفصلة للقاطع الآلي الذي يقوم بتنفيذ التحويل الآلي للحمل من الشبكة إلى مجموعة التوليد والعكس بالعكس.

تتم حماية المولد بشكل نموذجي بواسطة ساتر وبنية مضادة للرطوبة، أما بالنسبة للمولدات المستخدمة بشكل مستقل فيجب تفعيل حيادية المولد وجميع المعادن غير الناقلة عن طريق تأريضه بشكل فعال. إن المحركات العنفية الغازية أخف وزناً، وأنظف، وبشكل عملي فإن عدم الاهتزاز يجعل الوحدات الصغيرة قابلة للتركيب في الأماكن العالية غير أنها أغلى ثمناً من محركات الديزل.

وحدات تغذية الطاقة عالية الأمان

إن تزايد تعقيد معدات تكنولوجيا المعلومات، والمنظومات الصناعية الآلية، وارتفاع مستويات أدائها، كسرعة معالجة البيانات، ووصل أنظمة الاتصالات في الزمن الحقيقي، والتشغيل المستمر والمؤتمت، ...، إلخ، كل ذلك يعني أنها أكثر عرضة للتأثيرات الخارجية، وأنها مستقلة عن مصدر تغذيتها بالطاقة الكهربائية.



الشكل (7.12) مجموعة مولد ديزل آلية بشكل كامل. تظهر هنا وحدة التحكم مع الكابلات إلى الحمل مع بطارية الإقلاع، مداخل الهواء والمشع، مخارج الغازات العادمة، مرشحات الهواء والمخمدات.

يتم توزيع القدرة الكهربائية على شكل موجة جيبية تشكل منظومة أحادية أو ثلاثية الطور توصف بما يلي:

- التردد
- السعة أو المطال
- الشكل (تشوه الموجة)
- تناظر المنظومة.

بينما يكون الجهد في خرج محطة الطاقة كامل بشكل فعلي، فلا يمكن القول بأنه يصل كما هو إلى المستخدم مع مرور الوقت، حيث يمكن رصد العديد من أنواع الاضطرابات المختلفة:

- العابرة
- الانخفاضات المؤقتة الناتجة عن زيادة الاستهلاك
- تغيرات التردد
- فترة انقطاع التيار – إطفاء الأنوار، ...

يرتبط مصدر هذه الاضطرابات بنقل وتوزيع الطاقة، وكذلك بكل من الظروف الجوية (الزوابع الكهربائية، الثلج، الصقيع، الرياح، ...) والصناعية (شذوذ الآلة، تعرض الشبكة للحوادث العرضية، ...، الخ). ولهذا وعلى الرغم من التحسينات المستمرة لشبكات التوزيع ونوعية التغذية الكهربائية، فلا تزال هناك بعض الأساليب التي تتسبب في توليد المشاكل للمعدات الحساسة. ومع هذا، فإن تزايد تعقيد العديد من العمليات الحاسبية والاتصالات يقود إلى خطر ازدياد هذه الاضطرابات.

فعلى سبيل المثال، يجب أن يتم وصل مخدم القرص الصلب لأي ملف إلى وحدة UPS:

- يتم تخزين مجلد ملف المخدم لمعظم أنظمة الشبكات في الذاكرة المؤقتة RAM لتسهيل الولوج إليه. وبالتالي قد يؤدي انقطاع الطاقة ولو لثانية واحدة إلى حذفه كلياً من الذاكرة.

- يتم استدعاء جميع ملفات النظام في بيئة Unix عندما تكون الذاكرة المؤقتة مفتوحة. فإذا ما فقدت الطاقة في أي لحظة، سنضطر عندئذ لإعادة تنصيب ملفات نظام التشغيل مع التطبيقات البرمجية كاملة.

إن حماية المخدم ليس إلا خط دفاعي أول، حيث تحتاج محطات العمل للحماية ضد انقطاع الطاقة بواسطة أجهزة UPS كذلك.

حلول لمشكلات الطاقة

بغية التخلص من المشاكل الأربع المعروضة آنفاً بشكل تام، كانت أجهزة UPS هي المنتج المتطور الوحيد الذي تصدى لذلك. بعد مرور أكثر من ربع قرن على ظهور الجيل الأول، تحتل أجهزة UPS الآن أكثر من 95% من الأجهزة البينية للطاقة الاحتياطية التي بيعت، حيث تشكل أكثر من 98% للتطبيقات الإلكترونية وتكنولوجيا المعلومات الحساسة.

تمثل أجهزة UPS وصلة بينية بين الشبكة والحمل الحرج، وتقوم بتغذية الحمل بالطاقة الكهربائية المستمرة بنوعية عالية بصرف النظر عن أوضاع الشبكة فيما إذا كانت موجودة أم لا. وتعطي تغذية بجهود موثوقة خالية من جميع الاضطرابات التي قد تصيب الشبكة وضمن السماحيات المتوافقة مع متطلبات حساسية الأجهزة الإلكترونية.

مغذيات الطاقة الساكنة: تتشكل مغذيات الطاقة الساكنة عادةً من ثلاثة أجزاءٍ رئيسيةٍ هي:

1. المقوم/الشاحن لتحويل التيار المتناوب إلى مستمر وشحن البطارية.
2. البطارية وتكون عادةً من نوع الرصاص/الحمض المختومة والتي تتيح تخزين الطاقة بشكلٍ آني لاستعادتها عند الحاجة.
3. مبدل ساكن لتحويل الجهد المستمر إلى متناوب ومن ثم تنظيمه وملاءمته بشكلٍ كاملٍ عن طريق علاقة الجهد بالتردد.

هذه هي الكتل الرئيسية للبنية، وهي تمتاز أيضاً بميزات إضافية أخرى كالمرور الساكن للانتقال المتزامن للشبكات الاحتياطية في حالات تجاوز الحمل أو الأعطال. وتلحق عادةً بصيانة ميكانيكية خارجية أجهزة UPS معزولة بشكلٍ كاملٍ. هناك إشارات متنوعة تؤمن المعلومات عن بعد.

وحدات التغذية الدوارة: تم التحول لوحدات التغذية الدوارة من الأنظمة الأصلية المكونة من محرك d.c ودولاب معدل ومنوبة. أصبحت أجهزة UPS الدوارة أنظمة هجينة تحتوي على التقنية الساكنة مع الآلة الكهربائية ومكونة من أربعة أجزاءٍ هي:

1. المقوم/الشاحن كما هو في الشكل الساكن.
2. البطارية كما هي في الشكل الساكن.
3. النسخة الأبسط من القالب والمستخدم لقيادة محرك d.c.
4. المحرك المولد وهو ذو عدة أشكالٍ تابعة للجهة المصنعة.

لا تقوم هذه المنظومة بأي تحويلٍ ساكنٍ في حالات تجاوز الحمل أو ظهور الأعطال، حيث يتم الاعتماد على التيار شبه العابر الصادر عن المولد وذلك لتصحيح الخطأ.

بالمقارنة مع الحلول المباشرة فإن هذه المنظومة ليست موثوقة وفعالة كسابقتها المنظومة الساكنة، ولكن الميزات التي تجعلها أفضل هي النظم الدوارة، هذه المتغيرات التيار العالي للدارة القصيرة، العوازل المغلفنة، والممانعة الداخلية المنخفضة. وهي تبدي تسامحاً جيداً للأحمال غير الخطية.

ونتيجة لنسبة حجمها الفيزيائي إلى مستوى الـ kVA ، ومستويات الضجيج العالية من 70 إلى 90dBA للأنظمة الدوارة، فهناك ميل لتركيبها في غرف المعدات.

أجهزة UPS المثالية: يجب أن تمتلك أجهزة UPS المثالية الخصائص الآتية:

- جهد خرج بإشارة جيبية مثلى (لأي شكل موجة تيار حمل مشوه).
- سهولة الحصول على الطاقة الشرطية 100% (عدم استخدام التمرير الرئيسي).
- تيار دخل بإشارة جيبية مثلى (مع جهد تغذية ضعيف في الدخل، توافقيات دخل مهملة وعامل استطاعة واحدي).

- ترددات عالية أكبر من 97%.
- صغيرة الحجم ("أثر القدم" كحد أدنى للطاقة العظمى).
- ساكنة (صامتة تقريباً).
- تكلفة أولية منخفضة وصيانة رخيصة.

مع التقدم التكنولوجي، وبشكل خاص في مجال أنصاف النواقل، بدأت أجهزة UPS الساكنة بالاقتراب من هذه الخصائص شيئاً فشيئاً.

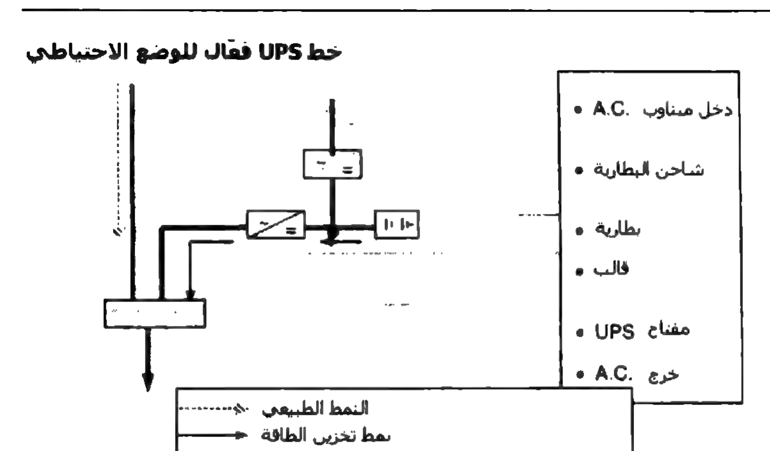
تطبيقات UPS: أضحت أجهزة UPS جزءاً مكملاً لمتطلبات أي منظومة تغذية طاقة عالية الوثوقية، سواء أكانت 250 VA لأجهزة الحواسب الشخصية، أو 4000 kVA لمراكز المعلومات. تلائم الأنواع المختلفة لأجهزة UPS التطبيق الاحتياطي غير النشط، الخط التفاعلي، والتسلسلية على الخط.

يتضح من الشكل (7.13) بأنه في نمط العمل الطبيعي، يتم تغذية الحمل بواسطة دخل الطاقة الرئيسي a.c عبر مفتاح USP. يمكن تواجد وسائل أخرى تقوم بتأمين بعض الملاءمة. يعتمد تردد الخرج على تردد الدخل a.c. عندما يكون جهد تغذية الدخل a.c خارج مجال تسامح UPS المعد مسبقاً، فإن أجهزة UPS تدخل في نمط عمل الطاقة الاحتياطية، حيث يتم تفعيل المبدل ويتم نقل الحمل إليه مباشرةً أو بواسطة مفتاح UPS (والذي يمكن أن يكون إلكتروني أو ميكانيكي).

تحافظ كتلة البطارية/الشاحن على استمرارية طاقة الحمل أثناء فترة دوام وبقاء الطاقة المخزنة أو حتى عودة تغذية الجهد a.c خلال السماحيات المعدة مسبقاً لأجهزة UPS، عندما ينقل الحمل بشكل عكسي لاحقاً. مع تغذية الدخل a.c ضمن السماحية، يبدأ عمل بطارية الشحن. إن نوع أجهزة UPS المستخدم عادةً للحواسب الشخصية هو كنظام قائم بذاته وكعنصر منخفض الطاقة والكلفة.

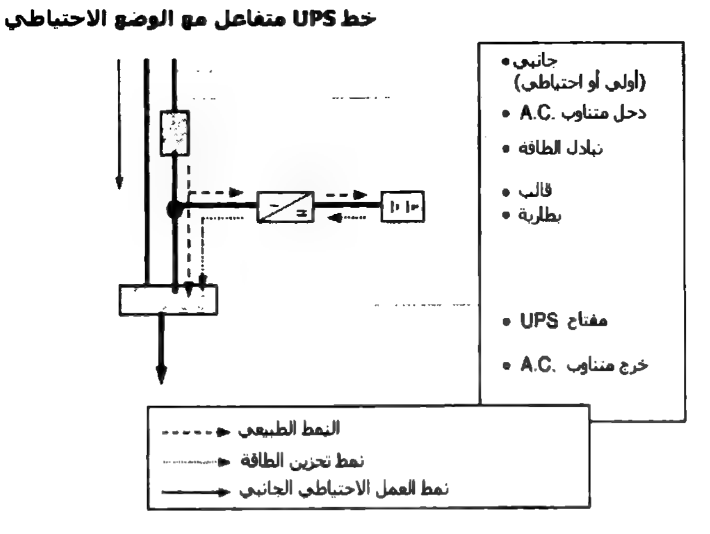
تتم تغذية الحمل بالطاقة للنظام المبين في الشكل (7.14) في نمط التشغيل العادي بواسطة وصلة تفرعية من دخل a.c ومبدل UPS. يعمل هذا المبدل على تأمين تكييف جهد الخرج و/أو شحن البطارية.

خط UPS فعّال للوضع الاحتياطي



الشكل (7.13)

خط UPS متفاعل مع الوضع الاحتياطي



الشكل (7.14)

يعتمد تردد الخرج على تردد الدخل a.c. عندما يكون جهد تغذية الدخل a.c خارج مجال تسامحات UPS المعدة مسبقاً، يحافظ المبدل والبطارية على استمرارية طاقة الحمل.

عند العمل بنمط الطاقة المخزنة، يقوم المفتاح بفصل تغذية دخل a.c لمنع التغذية العكسية من جهد المبدل.

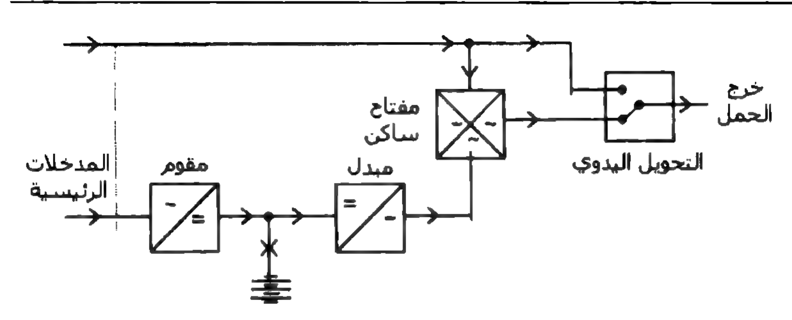
تعمل الوحدة بنمط الطاقة المخزنة طوال فترة صلاحية البطارية أو حتى عودة تيار تغذية الدخل a.c من خلال سماحية تصميم UPS السريعة.

يستخدم هذا النوع من أجهزة UPS عادةً في تطبيقات الطاقة المنخفضة إلى المتوسطة، ومجموعات الحواسب الشخصية وقد يحتمل استخدامها للشبكات المحلية.

يمتلك كل من نوعي التطبيق الاحتياطي غير النشط والخط التفاعلي قيوده المبنية على مآخذ الدخل a.c. عندما تكون هذه المداخل خارج السماحية لفترة طويلة أو لعدة فترات قصيرة، فإنه يتم استتراف الطاقة المختزنة وهذا ما يزيل التغذية المكيّفة. ولتجنب هذا الوضع، يجب أن يمتلك دخل مقوم أجهزة UPS سماحية نواقل دخل a.c واسعة، وهذا يقود إلى النوع المستخدم والأكثر شيوعاً لأجهزة UPS.

التحويل المزدوج المباشر

وصف النظام: يتم تشكيل النظام بأسلوب العمل المباشر الحقيقي لضمان حماية الأحمال الأساسية والحرجة ضد جميع أشكال الاضطرابات التي قد تصيب نواقل تغذية الطاقة، ولتوفير مصدر مستقر ومنظم بإحكام لطاقة a.c في جميع الأوقات. تحتوي المنظومة القياسية على مقوم/شاحن البطارية، مبدل، مفتاح ساكن، بطارية، وممر تحويل يدوي. وهي جميعاً موضحة في الرسم التخطيطي المبين في الشكل (7.15).



الشكل (7.15) المخطط الصندوقي لنظام تغذية طاقة ساكن بدون انقطاع

مبدأ هذه العملية:

العادي يزود الحمل باستمرار بواسطة المبدل. يستمد المبدل/الشاحن طاقته من الطاقة الكهربائية القادمة ويزود طاقة d.c للقالب، بينما يقوم في الوقت ذاته بشحن عائم للبطارية.

الطوارئ عند تعذر تغذية a.c القادمة، أو لدى حدوث انحراف للتغذية القادمة ما وراء تسامحات محددة، يستمر الحمل في استقبال التغذية من المبدل، والذي يستمد طاقته من البطارية لفترة زمنية محددة مسبقاً تعتمد على سعة ومطال الحمل الموصول.

إعادة الشحن عند استرجاع تغذية الدخل a.c، يقوم المقوم/الشاحن بتغذية المبدل مرة أخرى وبشكل متزامن أو آني يتم شحن البطارية.

التبديل الساكن لكي نوفر حمل آمن ومتوازن أكثر، يجب تأمين مصدر تغذية مختلف يتم وصل الحمل إليه بشكل تلقائي في حال حدوث تجاوز للحمل لفترة طويلة أو حدوث خلل أو قصور في القالب. وهذا الانتقال يتم دون انقطاع التغذية من خلال المفتاح الكهربائي الساكن.

ممر تحويل يدوي وهذا متضمن أيضاً وبالتالي يمكن أن يتم وصل الحمل يدوياً إلى مصدر تغذية مختلف. يوفر هذا التسهيل العزل للمبدل والمفتاح

الكهربائي الساكن عند إجراء أعمال الصيانة. وكذلك يتم تأمين الانتقال دون انقطاع في تغذية الحمل.

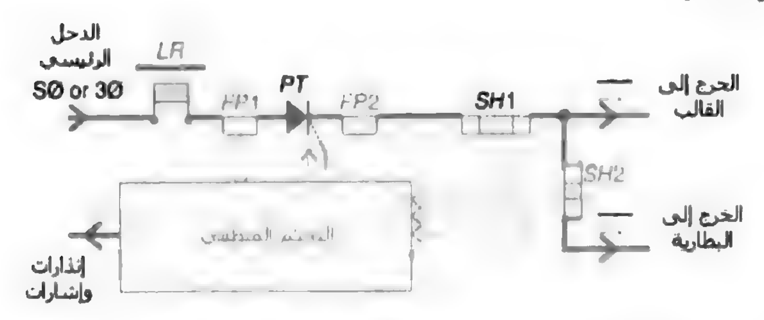
تظهر الصورة في الشكل (7.16) تركيب نموذجي لهذا النوع من أجهزة UPS.




الشكل (7.16) أحد الأنواع النموذجية لأجهزة UPS

وصف الأجزاء: فيما يلي وصف لأجزاء UPS:

المقوم: يبين الشكل (7.17) تركيبة شاحن المقوم/البطارية. ومهمة المكونات الرئيسية هي كالتالي:

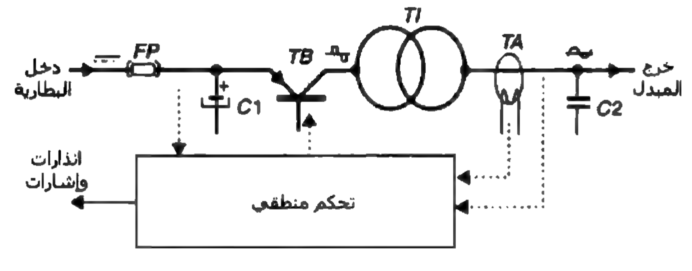


الشكل (7.17) المخطط الوظيفي لتركيبة شاحن البطارية/المقوم

'LR'	المفاعلة التي تقوم بحذف التغيرات المفاجئة (spikes) للجهد والتشوه المنعكس في وصلات التغذية المتولدة بواسطة عمل جسر المقوم 'PT'
'PT'	جسر تقويم متحكم به داخلياً، ذو ست نبضات. ويتكون من ست ثايرستورات تعمل على تقويم جهد الدخل المتناوب ثلاثي الطور إلى تيار/جهد مستمر. باستخدام مقوم الطور المتحكم به من أجل الانحرافات الكبيرة في جهد الدخل التي قد تصل إلى 30% دون استخدام البطارية.
FP2, FP1	منصهرات سريعة جداً، تقوم بحماية ثايرستورات جسر التقويم (PT) ضد الحمولات المفاجئة وكذلك ضد قصر الدارات.

يدير "التحكم المنطقي" معظم عمل المقوم في سبيل ضمان جهد خرج مستمر ومستقر أمام أية تغيرات للحمل وجهد الدخل ضمن حدود معينة. كذلك يتحكم بتيار الخرج الأعظمي لجسر القالب (عبر SH1) وتيار شحن البطارية (عبر SH2)، إن تنفيذ دارة شحن البطارية بشكل آلي معرف عن طريق خصائص I-U من المواصفات الألمانية DIN 41773. للتحكم المنطقي أيضاً مهمة عرض حالة جاهزية عمل المقوم عن طريق التحكم بكل من الإنذارات والإشارات المحلية والبعيدة.

المبدل: تعطى تركيبة المبدل في الشكل (7.18). أما وظائف مكوناته الرئيسية فهي كالتالي:

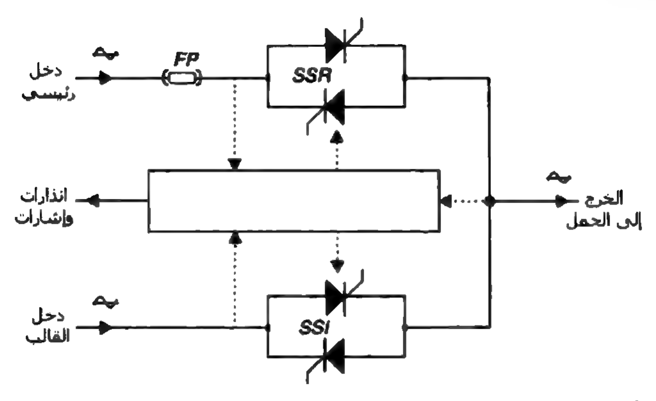


الشكل (7.18) المبدل - مخطط وظيفي

'FP'	منصهرة حماية سريعة جداً ضد تجاوز الحمولات الفجائية أو قصر الدارات في خط الطاقة d.c.
'C1'	مرشح d.c يقوم بحجز التيار النبضي المنعكس عن جسر مبدل القالب.
'TB'	جسر مبدل القالب المجهز بالترانزستور (IGBT) والذي يقوم بتبديل التيار المستمر من المقوم أو البطارية إلى تيار متناوب.
'T1'	محولة الخرج، تقوم بملاءمة طاقة a.c من جسر TB إلى طاقة a.c ضمن حدود تغذية الحمل.
'C2'	مرشح الخرج، يخفض التوافقيات في جهد الخرج a.c إلى الحد الأدنى.

يدير "التحكم المنطقي" عمل المكونات المختلفة للقالب بغية ضمان جهد خرج متناوب، مستقر أمام أي تغير في الحمل وجهد الدخل ضمن الحدود المقبولة. للتحكم المنطقي كذلك مهمة عرض جاهزية عمل القالب عبر التحكم بكل من الإنذارات والإشارات المحلية والبعيدة.

المفتاح الساكن: تعطى تركيبة المفتاح الكهربائي الساكن في الشكل (7.19) وفيما يلي وظائف مكوناته الرئيسية:



الشكل (7.19) المفتاح الساكن، مخطط وظيفي

'SSI' زوج من الثايرستورات الموصولة بأسلوب توصيل تفرعي سالب وموجب، تقوم بفصل/وصل جهد المبدل. يتحدد التيار الأعظمي المار من خلال هذين الثايرستورين بواسطة المبدل.

'SSR' زوج من الثايرستورات الموصولة بأسلوب توصيل تفرعي سالب وموجب، تقوم بفصل/وصل مآخذ الطاقة الرئيسية.

يدير "التحكم المنطقي" المكونات المختلفة للمفتاح الكهربائي الساكن. وبشكل أكثر تحديداً، يحافظ على جهد خرج المبدل تحت التحكم باستمرار، ليواقته مع جهد دخل الموصلات. كذلك يتحكم بزوج الثايرستورات على جانب المبدل، SSI، وبزوج الثايرستورات على جانب الموصلات SSR.

في ظروف العمل العادية، يتم تزويد الحمل بالطاقة عبر المبدل عندما يتم قدح الثايرستورات SSI. عند حدوث تجاوز للحمل على الخرج أو عند فشل المبدّل، يتم وصل الحمل مع خطوط التغذية، حيث يتم قدح الثايرستورات SSR وحذف إشارة قدح الثايرستورات SSI.

تستعاد شروط العمل العادية آلياً أو عن طريق إعادة تهيئة المبدل عند حدوث خلل ما. يتم الانتقال بين القالب/الموصلات وبين الموصلات/القالب بشكل آلي وبزمن صفري دون التسبب بأي اضطراب على الحمل. يمكن إنجاز عمليات التبديل هذه يدوياً.

للتحكم المنطقي أيضاً مهمة عرض جاهزية عمل المقوم عبر التحكم بكل من الإنذارات والإشارات المحلية والبعيدة.

المتطلبات العامة لأجهزة UPS

الشهادة: يجب أن تعتمد الجهة المصنعة نظام ISO 9001. ويجب أن تحمل أجهزة UPS الشعار CE بموجب توجيهات Safty و EMC التالية 73/23 و 93/68 و 89/336 و 91/31 و 93/68 وأن تصمم وتصنع بحسب المواصفات القياسية العالمية التالية:

- IEC 6950 تأمين تجهيزات المكتب.
- BSEN 250091-1
- BSEN 250091-2
- BSEN 250091-3

(BSEN 250091-1، BSEN 250091-2، BSEN 250091-3): إصدارات إلكترومغناطيسية منقولة ومشعة.

المكونات: جميع الوسائط الإلكترونية الفعالة يجب أن تكون بالحالة الصلبة ولا تتجاوز وسطاء التشغيل الموصى بها من أجل الوثوقية العظمى.

توصيل الحيادي والتأريض: يجب عزل الخرج الحيادي لأجهزة UPS عن هيكلها المعدني كهربائياً، ويجب أن يتم وصل خرج a.c الحيادي لها إلى مصدر a.c التجاري من خلال أجهزة UPS.

EMI وكبح الاندفاع: يجب أن تخفض الآثار الإلكترومغناطيسية إلى حدودها الدنيا لضمان عدم تأثر أنظمة الحواسب، أو أي أحمال إلكترونية أخرى مشابهة، بجهاز UPS أو تأثيرها عليه، يجب تصميم جهاز UPS ليحقق متطلبات المعيار EN 250091-2.

المقوم/شاحن البطارية

عام/دخل: تتحول طاقة a.c العامة الداخلة إلى خرج منظم d.c بواسطة شاحن بخصائص جهد و تيار ثابتين. يتم حماية كل طور من الدخل بشكل مستقل عن طريق منصهرات سريعة التأثير لمنع أو لتجنب الأعطال المتعاقبة.

يجب أن يتوافق استعمال المقوم/شاحن البطارية مع نوع البطارية المختارة، وهي إما بطارية الحمض/الرصاص مع صمام تنظيم (VRLA)، أو بطارية الحمض/الرصاص ذات التهوية الدائمة، أو بطارية النيكل/الكادميوم.

تنظيم الجهد: يجب ألا ينحرف جهد خرج شاحن المقوم/شاحن البطارية أكثر من ±1% تحت أي من الشروط التالية:

- التغير من اللاحمل إلى الحمل الكامل 100%
- تغيرات جهد الدخل البدائي والتردد ضمن حدود التغذية

لضمانٍ شحن أمثلي وحياة أطول للبطارية، يجب ضبط الجهد القائم أوتوماتيكياً اعتماداً على درجة الحرارة المحيطة بالبطارية. يجب أن يكون المقوم قادراً على تزويد طاقته التقديرية للمبدل دون سحب الطاقة من البطاريات حتى يتناقص جهد الدخل a.c لأكثر من 25% من القيمة الاسمية.

هجوم/إقلاع ناعم: يجب أن يكون لمقوم/شاحن البطارية دارة مهاجمة مؤقتة تضمن أن الوحدة تقوم بتحميل تدريجي للحمل على فترة (30 s) بعد تطبيق جهد الدخل. كذلك يطلب التسهيلات التي تكفل منع الدخول التدريجي لأي مولد احتياطي إلى دخل UPS وشاحن البطارية حتى إعادة وصل التغذية الرئيسية.

عامل الاستطاعة: يجب أن يكون عامل الاستطاعة لدخل المقوم/ شاحن البطارية مساوياً إلى 0.9 متأخر أو أعلى من الحمل الاسمي، جهد الدخل الاسمي، في وضعية الشحن الآلي العائم.

الترشيح: يجب أن يحدد المقوم/شاحن البطارية تموج الجهد إلى أقل من 1%.

التشوه التوافقي الكلي: يجب أن يتحدد التيار الأعظمي THD الذي يحقن في خطوط التغذية الرئيسية، وفقاً للقوانين المعمول بها محلياً بوجود المقوم والمرشح ذي (12) نبضة، يمكن أن ينخفض المستوى إلى 5% في الوحدات الكبيرة.

السعة: يجب أن يمتلك المقوم/شاحن البطارية السعة الكافية لدعم المبدل عند الطاقة الاسمية، بينما يحافظ آنياً على شحن البطارية بالكامل بالشروط العائمة. بعد تفريغ كلي أو جزئي للبطارية، يجب أن يقوم الشاحن بتغذية المبدل وشحن البطارية بالطاقة بشكل أوتوماتيكي.

اختبار البطارية بشكل آلي: يتم اختبار وضعيات البطارية عادةً آلياً بشكل دوري (خلال فترات زمنية متساوية). يشمل الاختبار التفريغ الضعيف للتأكد بأن البطارية وملحقاتها المرتبطة، والكبلات والتوصيلات في الشروط المقبولة أو المرضية. يجب أن يتم اختيار البطارية دون خطر على الحمل، حتى إذا أمكن وقوع الخلل على البطارية ذاتها. يتم كشف عطل أو خلل أو قصور البطارية باختيار آلي حيث يتم الإنذار عادةً لتنبيه المستخدم لاتخاذ إجراء ما.

المبدل IGBT

يقوم المبدل بدمج وسائل طاقة IGBT ويستخدم مبدأ PWM (تعديل عرض النبضة) لتوليد جهد خرج a.c جيبي. يجب أن يعمل المبدل من خلال متغيرات محددة على خرج المقوم/شاحن البطارية العادي وضمن مجال جهد البطارية.

تنظيم الجهد: يجب أن يحقق جهد خرج المبدل الأداء النموذجي التالي:

الحالة المستقرة: يجب ألا ينحرف جهد حرج الحالة المستقرة بأكثر من ±1% عن جهد الدخل وتغيرات الحمل ضمن حدود معينة.

الاستجابة العابرة للجهد: يجب ألا يتجاوز الجهد العابر ±5% عندما يتعرض لتطبيق أو إزالة الحمل 100%.

الاسترداد العابر: يجب أن يعود جهد الخرج إلى ±2% من القيمة الاسمية خلال 20ms بعد تغير الحمل بقفزة 100%.

تنظيم التردد: يجب التحكم بتردد خرج المبدل للوصول إلى الأداء النموذجي التالي:

الحالة المستقرة: يكون عادةً تردد خرج الحالة المستقرة عندما تتم مزامنته مع الطاقة المخزنة قابلاً للاختيار فوق حزمة لا تقل عن ±1% ولا تزيد عن ±4%.

التحكم بالتردد: يتم التحكم عادةً بتردد خرج المبدل بواسطة هزاز من الكوارتز. ويكون قادراً على العمل كوحدة مستقلة بذاتها أو كأداة تستجيب لعملية المواقتة مع مصدر a.c منفصل. دقة التحكم بالتردد عند العمل المستقل يجب أن تكون ±5% من القيمة الاسمية.

التشوه التوافقي الكلي: يجب أن يزود المبدل بتحييد توافقي وترشيح وذلك للحد من التشوه التوافقي لجهد الخرج إلى أقل من 2% مع الحمل الخطي.

محولة طاقة الخرج: يزود المبدل عادةً بمحولة ذات عزل من النمط الجاف لخرج المبدل a.c.

تجاوز الحمل: يطلب أن يكون المبدل عادةً ذا مقدرة على تغذية حمل زائد بمقدار 125% لمدة 15min وبمقدار 150% لمدة 10s.

إيقاف المبدل: لدى تحسس خلل داخلي، فإن جهاز التحكم الإلكتروني للمبدل سيقوم بعزل المبدل عن الحمل الكهربائي بشكل آني. وينتقل إلى الاحتياطي المزود به ضمن الحدود ومن ثم يتوقف ذاتياً.

المفتاح الكهربائي الساكن

المفتاح الكهربائي الساكن هو أداة تحويل طبيعية للتيار، عالية السرعة وبالحالة الصلبة مصنعة لتعمل في الخدمة باستمرار. تتم حماية كل طور بشكل مستقل بواسطة منصهرات سريعة التأثير لمنع حدوث الأعطال المتعاقبة.

يجب أن يوفر المفتاح الكهربائي الساكن عمليات النقل وإعادة النقل التالية:

- تهيئة آلية لنقل التغذية المخزنة دون انقطاع في الحالات التالية:
  - التجاوز في حمل الخرج.
  - الجهد d.c خارج الحدود.
  - عطل المبدل.
  - ارتفاع الحرارة.
- التهيئة اليدوية للتغذية المخزنة لنقل/إعادة النقل من/إلى لوحة التحكم.
- تهيئة النقل الآلي بدون انقطاع من تغذية احتياطية عندما يكون المبدل قادراً على افتراض الحمل.
- يجب أن يتم منع النقل الآلي دون انقطاع في الشروط التالية:
  - النقل اليدوي إلى الاحتياطي عبر مفتاح الصيانة.
  - تعطل المفتاح الساكن للمبدل.
  - خرج أجهزة UPS محملة بشكل زائد (حتى إزالة الحمل الزائد).
  - جميع الانتقالات المكبوحة والانتقالات المعادة يجب منعها في الشروط التالية:
    - * جهد خرج المبدل أو الطاقة المخزنة خارج المجال.

* تواقت التردد خارج المجال.

التحميل الزائد: يجب أن يكون بمقدور المفتاح الكهربائي الساكن دعم التحميل الزائد، عادةً:

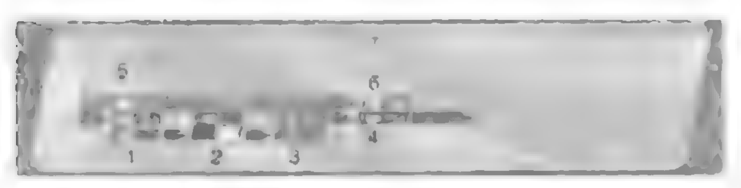
- 150% لمدة 30min.
- 1000% لمدة 100ms.

التحول للصيانة اليدوية: يجب أن يتم تحول جزئي للسماح بتغذية الحمل الخرج من الطاقة المخزنة بينما يتم عزل أجهزة UPS والمفتاح الكهربائي الساكن لضمان سلامة العامل أثناء الصيانة.

المراقبة وأجهزة التحكم

يجب أن تضم UPS عادةً أجهزة التحكم والقيادة الضرورية، تجهيزات ومشيرات تسمح للمستثمر بمراقبة حالات المنظومة والأداء و، بطبيعة الحال، لاتخاذ أي إجراء مناسب.

لوحة المحاكي (mimic panel): تتواجد أجهزة التحكم والإظهار عادةً على لوحة المحاكي المزودة بمؤشرات ضوئية (LEDs) لتشير إلى ظروف الأجزاء (انظر الشكل (7.20)).



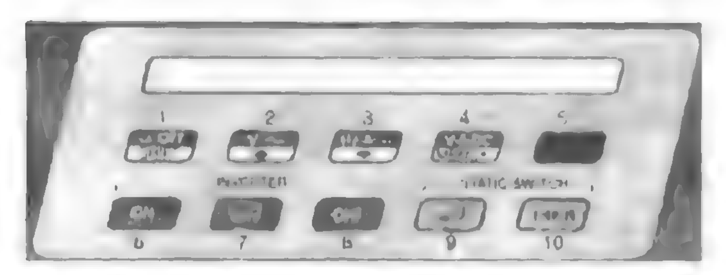
الشكل (7.20) العمل الطبيعي: الديودات 1، 4،3 ، 5 (أخضر)، الديودات 2، 6، 7، (فصل).

إنذار تفريغ البطارية: الديود 2 (أحمر)، الديودات 3، 4 (أخضر)، الديودات 1، 5، 6، 7 (فصل)

تغذية الحمل بالانعكاس: الديودات 1، 3، (خضراء)، الديودات 2، 4، 7 (فصل)، الديود 6 (أخضر).

شاشة العرض: تمكن شاشة عرض البلورة السائلة (LCD) من مراقبة وسطاء التشغيل وجميع القياسات وإنذارات أجهزة UPS، الشكل (7.21). علاوة على ذلك، من الممكن قراءة وضعيات تشغيل كل جزء من أجزاء الجهاز وذلك كل خمس ثوان. ولدى وقوع إنذار، يتم إصدار صوت إنذار وعرض الرسالة الخاصة به على الشاشة. يمكن إسكات الإنذار المسموع عن طريق الضغط على الزر المناسب.

أثناء التشغيل الاعتيادي، يمكن للمستخدم أن يتحكم بشاشة LCD عن طريق الضغط على الأزرار المناسبة الموضحة في الشكل (7.21). يمكن تمرير العرض للأمام أو للخلف لعرض رسائل المعلومات.



الشكل (7.21)

يمكن الحصول على قياسات إضافية عن طريق الضغط على أزرار متعددة للحصول على المعلومات التالية:

- جهود خرج منظومة UPS
- جهود دخل المقوم
- جهود الدخل الاحتياطي
- تيارات خرج منظومة UPS
- تيارات دخل المقوم

- الاستطاعة الظاهرية لخرج منظومة UPS ، الاستطاعة الفعالة وعامل الاستطاعة
- تردد خرج منظومة UPS
- تردد التغذية الاحتياطية
- جهد البطارية، زمن الاحتياط المتبقي كنسبة مئوية من زمن التفريغ
- حرارة وتيار البطارية

الحالة السابقة للطاقة: يمكن تخزين الإنذارات ضمن أنظمة UPS وتوفيرها للمستخدم. تسمح هذه الميزة بتحليل أوضاع المنظومة وتحديد أسباب عطل ما بعد وقوعه، يمكن للجهاز عرض معلومات إضافية كعدد الإنذارات (العدد الإجمالي) ونوع كل إنذار ومدته ونوعه وزمن وقوعه.

موصلات الألياف الضوئية: تقدم هذه الموصلات الطريقة الفضلى لإرسال البيانات والمعلومات، حتى للمسافات البعيدة، وبشروط آمنة جداً ضمن بيئة كهربائية عدوانية. تتوفر موصلات بينية متنوعة لوصلها إلى الحواسب، تسمح بمراقبة أوضاع أجهزة UPS عن طريق استرجاع كافة البيانات. يمكن التحكم بأجهزة UPS إذا كان ذلك مرغوباً من قبل المستخدم. تتوفر موصلات قياسية للوحات الحالة عن بعد أو لمنظومة إدارة المبنى.

يمكن تركيب أجهزة UPS ضمن حجرة خاصة حرة متحركة مع لوحات قابلة للإزالة IP20. مجهزة بتهوية/تبريد هواء قسري لضمان عمل جميع المكونات ضمن المواصفات، مع دخول الهواء من الأسفل وخروجه من القمة الخلفية.

يجب أن تمتلك أنظمة UPS المقدرة على تحمل أي مجموعة مكونة من الشروط البيئية التي قد تنشأ، بشكل عام الحرارة المحيطية (التشغيل - باستبعاد البطاريات) 0° حتى 40°C وكذلك الرطوبة النسبية حتى 90% (بدون تكاثف) عند درجة الحرارة 25°C.

التشكيلات المتوازية

يجب أن تتمتع أنظمة عدم انقطاع الطاقة ذات مستويات الطاقة المتوسطة والعالية بقابلية الربط على التوازي للحصول على تشكيلات متعددة الوحدات بين أنظمة من نفس مستوى الطاقة.

الطاقة التفرعية (parallel power): للحصول على طاقة تغذية أعلى من تلك التي توفرها وحدة مستقلة يمكننا ربط وحدات على التفرع بحيث أنه إذا فشلت إحداها، ستقوم الوحدات المتبقية بتجاوز هذه الفشل.

الوفر التفرعي (parallel redundant): عندما يكون الحمل مشتركاً بين الوحدات، مثلاً حمل 100kVA، فإن وحدتين بمعدل 100kVA تعطي وفراً بمقدار 100%، أما بالنسبة لثلاث وحدات بمعدل 50kVA فتعطي وفراً بمقدار 50%. لهذا الغرض يتم رفع وثوقية تغذية الطاقة.

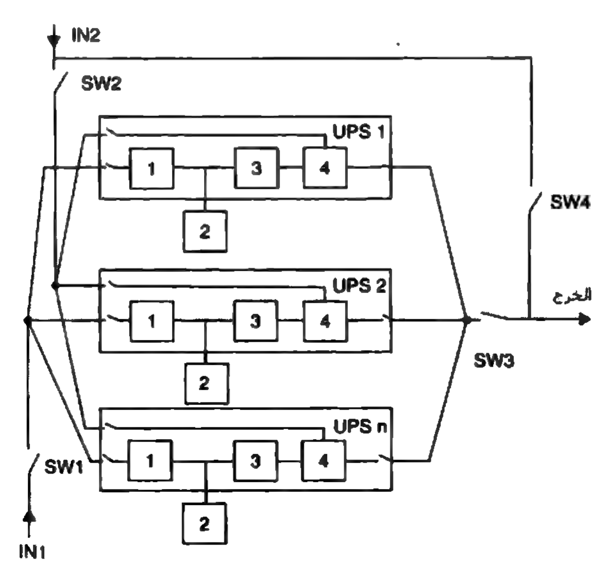
هناك طريقتان ممكنتان للوصل على التفرع وهما الطريقة المتمركزة (centralized) والطريقة اللامتمركزة (decentralized) وأما الفارق الأساسي بينهما فهو أنه في الطريقة المتمركزة، سيحتاج النظام لمفتاح ساكن احتياطي إضافي. وهذا سيؤدي بالنظام لأن يصبح عرضة لما يسمى بـــ "عطل النقطة المشتركة المفردة" حيث أن النظام لا يملك أية ميزة احتياطية في حال حدوث العطل ولهذا يستخدم معظم المصنعون التشكيلة اللامتمركزة في عملية الوصل.

تقدم التركيبة التفرعية اللامركزية الفوائد التالية:

- وثوقية متصاعدة أفضل عندما تقارن مع الخيار المركزي.
- مرونة قصوى.
- انتفاء دواعي توقع مستقبلي لتوسعات الحمل.
- استثمار بدائي محدد.

تبقى المميزات، الأداء والمراقبة نفسها كما هي الحال بالنسبة للوحدة المستقلة. إن العدد الأعظمي لوحدات UPS القابلة للوصل على التوازي هو ست وحدات.

تمكن فلسفة الربط المتوازي اللامتمركز وحدات UPS، التي تتضمن جميع المكونات الجزئية للوحدة المستقلة، أن تكون مربوطة على التوازي. انظر الشكل (7.22).



الشكل (7.22) منظومات UPS في الترتيبة المتوازية اللامركزية

إن المكونات الجزئية للشكل (7.22) هي كالتالي:

IN1	موصلات الدخل الرئيسية
IN2	الدخل الاحتياطي
OUT	الخرج إلى الحمل
SW 1/2/3/4	وسائل حماية التبديل

1 المقوم/شاحن البطارية

3 المبدل IGBT

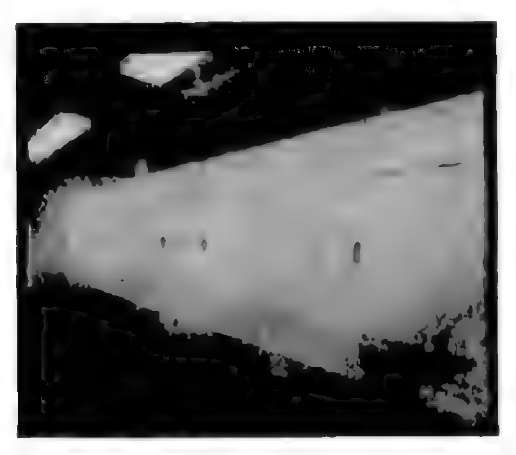
4 المفتاح الكهربائي الساكن

هذه هي المكونات الجزئية القياسية لمنظومة UPS.

2 البطارية

وهي دائماً خارج حجرة UPS.

يبين الشكل (7.23) منظومة وفر تفرعي مكونة من ثلاث وحدات كما هي مركبة في الخدمة.

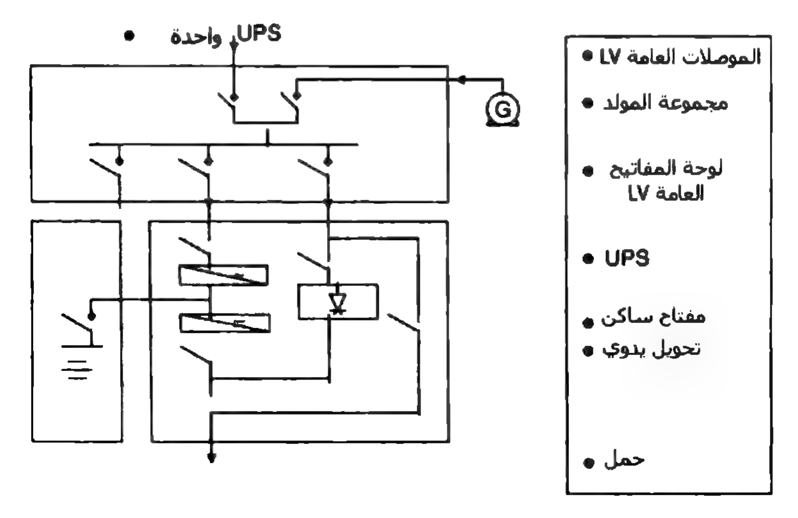


الشكل (7.23) منظومة وفر تفرعي مكونة من ثلاث وحدات

التركيب النموذجي

تتضمن وحدة UPS الكاملة المركبة (أي غير الحساسة) والمبينة في الشكل (7.24) لوحة المفاتيح LV التي تقوم بتوزيع طاقة a.c غير الأساسية لكافة معدات البناء وأيضاً إلى UPS ، التي تؤمن طاقة a.c كاملة (آمنة بشكل كبير) للحمل الحرج، لأجهزة الحواسب، ... إلخ. في حال حدوث انقطاع تام أو بقاء الطاقة لفترات طويلة خارج الحدود التي يسمح بها الـ UPS، فإن المولد سيبدأ العمل أوتوماتيكياً.

يتم فحص الطاقة a.c لخرج المولد من خلال اللوحة LV، وعندما تكون ضمن متطلبات UPS المعدة مسبقاً، تقوم المفاتيح بالتحويل ويقوم المولد بتغذية الطاقة غير الأساسية.



الشكل (7.24) التركيب النموذجي لوحدة UPS

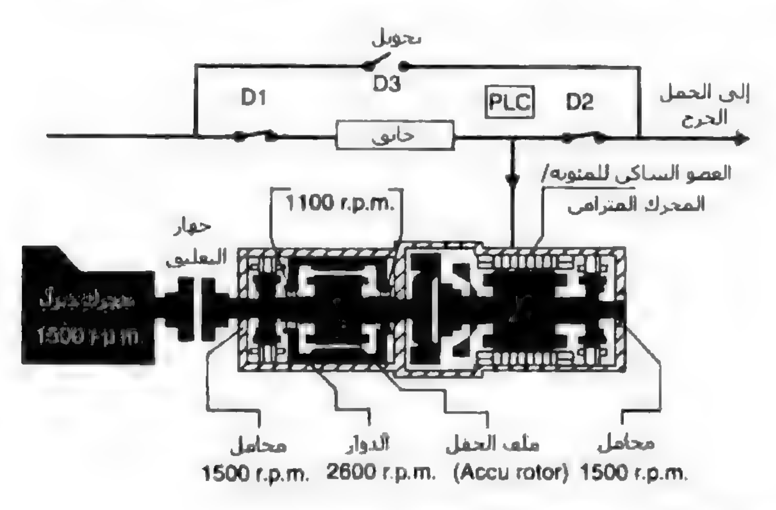
تبدأ مجموعة المولد بالإقلاع وتصبح في وضع العمل في غضون دقائق قليلة. ولكن إذا فشل المولد في البدء بالعمل بشكل تلقائي، فإن ذلك سيتطلب تدخلاً يدوياً. وهذا سيحتاج إلى وقت إضافي. يجب أن يمتلك مصدر الطاقة المختزنة (البطارية) الطاقة الكافية اللازمة لتعويض فترة هذا التدخل، تعد البطارية عادةً لدعم حمل الخرج لفترة 15min أو أكثر اعتماداً على زمن البدء اليدوي.

عند عودة طاقة خطوط التغذية العامة للمستوى النظامي ولمدة كافية، تقوم المفاتيح بنقل التغذية إلى هذه الخطوط العامة بالرغم من وجود تعطيل للتغذيات غير الكاملة. تضمن أجهزة UPS عدم وجود انقطاعات أو تغيرات لطاقة a.c الكاملة (سلامة عالية) للحمل الحرج حيث يترك المولد وهو يعمل بدون حمل لفترة قبل إطفاءه.

أنظمة الديزل دون انقطاع

تختلف هذه الأنظمة عن أنظمة ديزل السابقة، حيث تستخدم UPS ومنظومة بطارية لطاقة الأحمال الكبيرة جداً حتى 20MVA.

وصف النظام: يبين الشكل (7.25) المكونات الأساسية التي يتكون منها وهي:



الشكل (7.25) نظام ديزل دون انقطاع

1. محرك ديزل ذو حاكمة سرعة إلكترونية.
2. جهاز تعشيق إلكترومغناطيسي.
3. آلة متزامنة خاصة بدون مسفرات تتكون من:

- منوبة/محرك رباعي الأقطاب.
- محرك فصل متزامن متعدد الأقطاب (يركب عضوه الثابت على نفس المحور مثل العضو الدوار للمنوبة) والعضو الدوار الخارجي بالقفص السنجابي.
- ثلاث مهيجات ومقومان دواران.

4. لوحة تحكم وطاقة مع:
   - PLC
   - حساسات الموصلات.
   - خانق.
   - ثمان بطاقات تحكم إلكترونية.

نمط العمل العادي: عند العمل العادي يتم إغلاق القواطع المجهزة بمحركات D1 و D2 (D3 يفتح) وتتم تغذية الطاقة الرئيسية إلى الحمل من خلال الخانق. تعمل الآلة المتواقتة كمحرك متزامن.

يتم تنفيذ المهام التالية في نمط التشغيل العادي:

a. الترشيح من العمليات السابقة إلى اللاحقة.
b. الترشيح من العمليات اللاحقة إلى السابقة.
c. تنظيم الجهد.
d. تحسين عامل الاستطاعة.
e. قابلية إزالة المنصهرات دون التحويل.

تركب ملفات الحقل لمحرك تزامني على نفس العمود مثل المحرك المتزامن (تدور بسرعة 1125 rpm بانزلاق أقل). يتبع العضو الدوار ذي القفص السنجابي ملفات الحقل هذه بانزلاق عند ±1100 rpm. إن جمع 1100 rpm مع 1500 rpm للعمود يعني أن العضو الدوار يدور بسرعة 2600 rpm بينما تدور محامله بسرعة دوران 1100 rpm فقط (لأن هذه المحامل مركبة على العمود 1500 rpm).

فقط يستطيع الدوار من الطراز ®No-Break KS تخزين الطاقة للآلات ذات الاستطاعة حتى 2000 kVA. ومع ذلك فإن الدوران على المحامل فقط بعدد دورات منخفض يصل إلى 1100 rpm غير متفاوت، يزيد من كتلة العضو الدوار.

الأداء بتفصيل أكثر:

التخلص من الانقطاعات الميكروية: يتم التخلص من جميع الانقطاعات الميكروية حتى 30ms بواسطة منظومة تعمل بالحمل الكامل بدون إقلاع المحرك. عندما يكون الحمل أخفض فهناك إمكانية للتخلص من الانقطاعات الميكروية الأطول.

تنظيم الجهد الرئيسي: ينظم الجهد الذي يلي الخانق دائماً عند القيمة الاسمية المختارة ±1% حتى إذا تغيرت جهود وتيارات خطوط التغذية الرئيسية. يتم تحقيق ذلك بواسطة منظم جهد إلكتروني يقوم بتغيير تيار تهييج المنوبة الناتج عن تغيرات في تيار المفاعل. عندما يكون تغير جهد الموصلات السابق أعلى من 15% عندئذ يتم فتح القاطع D1 ويبدأ المحرك بالعمل.

المعوض المتزامن (تحسين عامل الاستطاعة): يتم تهييج المنوبة المتوازية بشدة نوعاً ما بهدف إنتاج طاقة المفاعل، والتي تزيد من عامل الاستطاعة إلى 0.99 في جانب الموصلات الرئيسية.

ترشيح التوافقيات والدارات القصيرة: إن الجمع بين الخانق والمنوبة المتوازنة ذات المفاعلة الداخلية المنخفضة جداً (5%) يشكل مرشحاً مثالياً لجميع الاضطرابات الناجمة عن المراحل السابقة أو اللاحقة مثل:

- الإنارة وقفزات الجهد الناتجة عن المستخدم (تخفيض حتى 99%).
- التوافقيات في شبكة الموصلات.
- التوافقيات على الحمل.
- تغيرات الجهد المنخفضة في حالة الدارات القصيرة اللاحقة والسابقة.

دورة الذروة: بإضافة أداة تتحسس الواط، فإنه من الممكن مراقبة طاقة خطوط التغذية الرئيسية المستهلكة من قبل المستخدم وبدء عمل محرك مجموعة الديزل دون انقطاع كمصدر للطاقة. هذا ما يؤدي إلى التخلص من العواقب الناتجة عن شروط تغذية الطاقة بوجوب تحميل طاقة تتجاوز القيم المفروضة من قبل تعرفة التغذية المقبولة.

المردود: تتم جميع هذه العمليات ضمن مردود إجمالي عالٍ جداً (93-96.4%)، لهذا السبب تبقى تكاليف التشغيل المستمر منخفضة بشكل حقيقي.

الاختبار: يتم اختبار المنظومة ذاتياً. بتشغيل معالج صغري لمحرك الديزل أسبوعياً واختبار حمل المنظومة الكلية شهرياً مع طباعة نتائج الاختبارات وإجراء عمليات تشخيص بواسطة المودم.

تنظيم جهد الموصلات الرئيسية: تتطلب منظومة الديزل دون انقطاع مفاعلة واحدة فقط تتوضع في الجهة السابقة للمنوبة المتوازنة. وبسبب امتلاك المنوبة المتوازنة مفاعلة داخلية منخفضة جداً فإنها لا تحتاج إلى مفاعلات تالية لها. تسمح هذه المفاعلة الداخلية المنخفضة للمنوبة المتوازنة بتوفير تيار دارة قصر عالٍ جداً مع تغير جهد منخفض.

عندما تنضم المفاعلة السابقة للمنوبة المتوازنة فإنها تقوم بالوظائف التالية:

1. ترشيح جميع التوافقيات.
2. في حالة دارة قصر سابقة، تقوم بتحديد تيار العطل لأربعة أضعاف تيار الحمل الكامل.
3. تنظيم جهد خطوط التغذية الرئيسية.

- جهد التغذية التالية للمفاعلة أخفض.
- تغذي المنوبة المتوازنة تيار المفاعل وترفع الجهد التالي للقيمة الاسمية ويتم ضبطه بواسطة مقياس فرق جهد.
- إذا تغير جهد التغذية للمراحل السابقة، تقوم المنوبة المتوازنة بضبط أوتوماتيكي لتيار المفاعل للمحافظة على جهد المراحل التالية عند نفس القيمة الاسمية.

ينخفض تيار المفاعل عندما يزداد جهد التغذية وبطريقة مماثلة يزداد تيار المفاعل عندما ينخفض جهد التغذية.

الطاقة الشمسية

على الرغم من اعتبار العلماء، ولفترة زمنية طويلة جداً، الطاقة الشمسية كمصدر هائل من مصادر التغذية إلا أنه لم يبذل ما يكفي من الجهود للاستفادة منها. لكن

من ناحية أخرى أعيد خلال السنوات المنصرمة الأخيرة التركيز عليها، واليوم يوجد العديد من الأجهزة التطبيقية قيد العمل.

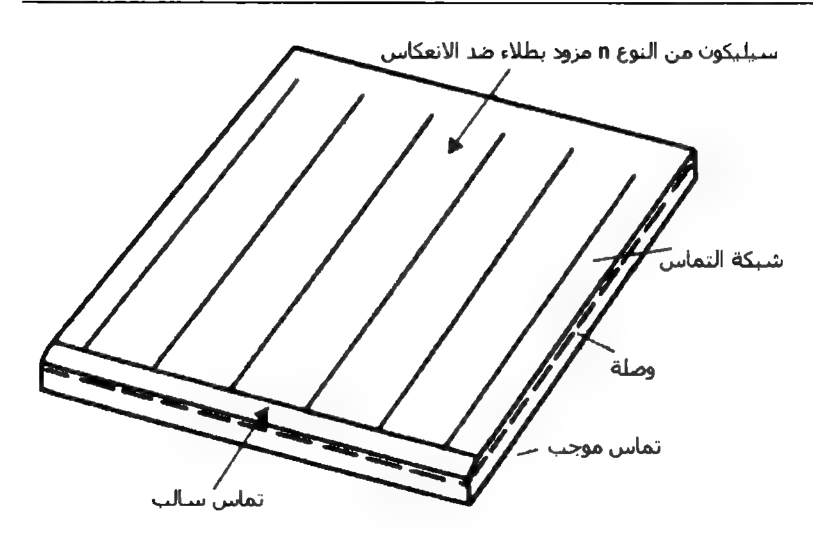
المكون الرئيسي هو الخلية الشمسية. وهي عبارة عن قرص رفيع من السيليكون الصرف الحاوي على مقدار صغير جداً من البورون (boron) (أو أية مادة مماثلة) لإعطاء السيليكون كموناً سالباً. يتم نثر طبقة من مادة من النوع p (راجع الفصل الرابع) بسماكة بضعة ميكرونات على السطح العلوي للقرص وتطوى النهايات فوق الحدود الخارجية. من ثم يتم حصر المجموعة في علبة حاوية ذات وجه زجاجي، يغطى السطح العلوي للقرص بزيت السيليكون لمنع ضياعات انعكاس الأشعة.

كما سنجد من الوصف، فإن التركيبة بشكل عام مشابهة لتلك التي وجدناها في الترانزستور حيث يؤدي تدفق الإلكترونات من صفيحة من النوع n إلى "الثقوب" صفيحة من النوع p إلى مرور التيار. في الخلية الشمسية، يتم إنتاج الطاقة عبر هذه الآلية عند الوصلة الحاجزة.

شكلت الطاقة الشمسية مصدر الطاقة الأساسي لعلم السفن الفضائية منذ عام 1958. يبين الشكل (7.26) المكونات الأساسية للخلية الشمسية. شريحة من السيليكون أحادي البلورة بأبعاد نموذجية 200×200 mm وبسماكة 300 μm، تجسد المكون المحول للقدرة. في التشكيلة n على p تتشكل وصلة سطحية عبر نثر الفوسفور ضمن بلورة البورون المعالجة. تطلى التماسات المعدنية أو تبخر في مقدمة وخلفية الخلية ويغطى السطح الفعال بطبقة مضادة للانعكاس من أوكسيد السيليكون أو أوكسيد التيتانيوم.

خلية شمسية بهذه البنية عاملة عند 250°C في ضوء الشمس العادي أعلى الغلاف الجوي ذات تيار دارة قصيرة قدره 140~150mA وجهد دارة مفتوحة بين 530 و 580mV، والأخير مستقل عن المساحة.

تكون الطاقة القصوى بين 55 و 65mW ويتم الحصول عليها بين 400 و 500mV. يهبط الجهد عندما يتم تدوير الخلية عن الشمس تقريباً بمقدار جيب تمام زاوية الورود.



الشكل (7.26) خلية شمسية استخدمت للمركبات الفضائية

يسبّب ارتفاع درجة الحرارة هبوطاً حاداً في مردود التحويل وهو حوالي 11% كحد أقصى. فارتفاع درجة الحرارة بمقدار 80°C سيؤدي إلى تخفيض الخرج بمقدار النصف.

عندما يكون قضيب السيليكون باعث ضعيف، تغطى الخلية بالزجاج أو السيلكا (ثاني أوكسيد السيليكون) المنصهرة. هذا الغطاء، مع سطح خلفي مبتعث بشكل عال يحدد درجة حرارة الحالة المستقرة لنظام الشمس الموجهة إلى 60°C. في التطبيقات الفضائية، يقوم الغطاء كذلك بتأمين الحماية ضد الإشعاع أو ذرات الغبار الكوني.

تمت دراسة العديد من مواد الخلية الشمسية للتطبيقات الفضائية، لكن المواد المنافسة بشكل جدي كانت زرنيخيد الغاليوم GaAs وكبريتيد الكادميوم متعدد البلورات. وكلاهما ضعيفان مقارنة مع السيليكون. ومع ذلك يتم استخدام كبريتيد الكادميوم في التجهيزات الكهرضوئية. (راجع الفصل الرابع).

مع كل العمل المبذول في سبيل تسخير الطاقة الشمسية في توليد الطاقة على نطاق واسع، لم يتم تسجيل أي نجاح حقيقي لتأمين هذه الطاقة بتكلفة اقتصادية حتى اليوم. تركيز الأشعة الشمسية لإنتاج طاقة حرارة مكثفة هي الطريقة الرئيسية التي بنيت على أساسها إحدى كبرى المنشآت في سويسرا.

كان هناك كلام عن بناء منشأة من هذه الطبيعة في الفضاء وإرسال الطاقة إلى الأرض، غير أن ذلك غير عملي في الوقت الراهن.

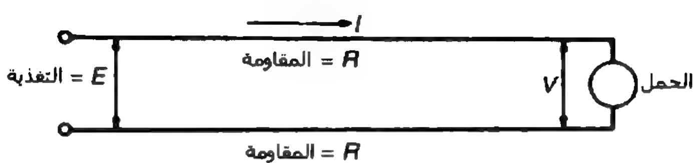


النقل والتوزيع

سلكي تيار مستمر: بالعودة إلى الشكل (8.1)، نجد أن هبوط الجهد في كل ناقل يساوي إلى IR، وعليه فإن هبوط الجهد الكلي سيساوي إلى $2IR$. من أجل ذلك، يعطى هبوط الجهد بالعلاقة $E-V=2IR$. من جهة ثانية، يعبر عن ضياع الطاقة في كل ناقل بالمقدار I^2R، وبالتالي فإن الضياع الكلي للطاقة سيكون $2I^2R$.

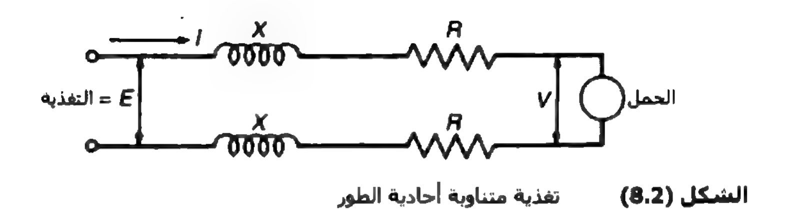
$$\text{المردود} = \frac{\text{الخرج}}{\text{الدخل}} = \frac{VI}{EI} = \frac{EI-2I^2R}{EI} = \frac{VI}{VI+2IR}$$

$$= \frac{E-V}{V} = \frac{2IR}{V}$$



الشكل (8.1) تغذية تيار مستمر بسلكين

تيار متناوب أحادي الطور: بالعودة إلى المخطط المبين في الشكل (8.2)، الذي يوضح المفاعلة التحريضية X، والمقاومة R (تم إهمال المفاعلة السعوية).



الشكل (8.2) تغذية متناوبة أحادية الطور

بأخذ عامل استطاعة الحمل $\cos\phi$ بعين الاعتبار، يمكن التعبير عن العلاقة بين الجهد على طرفي الحمل V، والجهد على طرفي المنبع E، على النحو التالي:

$$E=\sqrt{(V\cos\phi+2IR)^2+(V\sin\phi+2IX)^2}$$

يمكن حساب هبوط الجهد، وجهد التنظيم من القيم E و V. تعطى العلاقة التقريبية لهبوط الجهد لكل ناقل على النحو $IR\cos\phi+IX\sin\phi$ ، وبالتالي سيكون هبوط الجهد الكلي $2(IR\cos\phi+IX\sin\phi)$. ضياع الطاقة في كل ناقل هو I^2R والذي يعطي ضياع الطاقة الكلي للخط من خلال العلاقة $2I^2R$. يمكن إيجاد عامل الاستطاعة $\cos\phi_s$ عند منبع التغذية من العلاقة:

$$\tan\phi_s=\frac{V\sin\phi+2IX}{V\cos\phi+2IR}$$

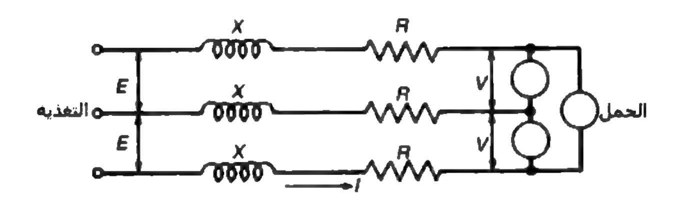
وبالتالي يمكن حساب المردود من العلاقة:

$$\frac{VI\cos\phi}{VI\cos\phi+2I^2R}$$

تيار متناوب ثلاثي الطور: بإهمال السعة، تبدو ثوابت الخط كما هو مبين في الشكل (8.3)، أما الدراسة التفصيلية القادمة فهي تتعلق بحمل متوازن موصول بشكل مثلثي:

يعطى هبوط الجهد للمفاعلة التحريضية والمقاومة لكل ناقل بالعلاقتين IX و IR على الترتيب. أما في حالة الوصل ثلاثي الطور فسيكون لدينا $\sqrt{3}IX$ و $\sqrt{3}IR$ ، وستعطى العلاقة بين V و E على النحو التالي:

$$E = \sqrt{\left(V\cos\phi_1 + \sqrt{3}IR\right)^2 + \left(V\sin\phi + \sqrt{3}IX\right)^2}$$



الشكل (8.3) تغذية متناوبة ثلاثية الطور

ويمكن حساب عامل الاستطاعة عند منبع التغذية من العلاقة:

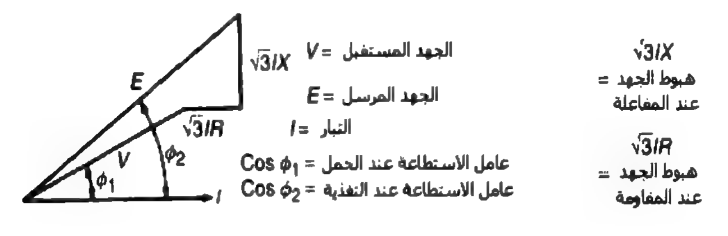
$$\tan\phi = \frac{V\sin\phi_1 + \sqrt{3}IX}{V\cos\phi_1 + \sqrt{3}IR}$$

أما الضياع في كل خط فسيكون I^2R، وبالتالي سيكون الضياع الكلي $3I^2R$، وبالتالي يمكن حساب المردود من العلاقة:

$$\frac{\sqrt{3}VI\cos\phi_1}{\sqrt{3}VI\cos\phi_1 + 3I^2R}$$

وسيحسب جهد التنظيم من العلاقة $\frac{E-V}{V}$.

يبين الشكل (8.4) المخطط الشعاعي للدارة ثلاثية الطور، هذا ويمكن استخدام هذا المخطط من أجل الدارة أحادية الطور بعد حذف $\sqrt{3}$ أمام IR و IX.



الشكل (8.4) مخطط شعاعي لخط ثلاثي الطور

قانون كلفن Kelvin: يمكن البرهان على أن الحصول على الاقتصادية العظمى لكل خط ناقل يكون عند تساوي التكلفة السنوية الرئيسية للخط مع كلفة القدرة السنوية الضائعة أثناء النقل. وهذا ما يعرف بقانون كلفن، والمستخدم كمرشد في تحديد حجم خط النقل الواجب استخدامه. أما النتيجة التي تحصل عليها من جراء تطبيق قانون كلفن يجب أن تؤخذ بالاعتبار أيضاً، من وجهة نظر هبوط الجهد، سعة حمل التيار، والبنية الميكانيكية. إن كلفة الخط الرئيسية (تؤخذ عادةً على مدار العام) هي الكلفة المفيدة للاستهلاك الرئيسي، بالإضافة إلى كلفة الصيانة بشكل أقل أهمية. تؤخذ عادةً الأرقام بين 10% إلى 20% من الكلفة الرئيسية لتغطية هذه البنود. يمكن تقدير القدرة السنوية الضائعة للخط بواسطة العلاقة التالية:

$$\frac{e\,B\,a}{100} = m\,I^2\,R\,p \times 8760 \times 10^{-5}$$

حيث:

- e = الفائدة والانخفاض في القيمة كنسبة مئوية في العام
- B = الكلفة لكل km للخط لكل mm^2 من مساحة المقطع العرضي بواحدة جنيه استرليني (£)
- m = عدد النواقل
- I = القيمة المنتجة للتيار مأخوذة على مدار العام
- R = مقاومة كل ناقل لكل km
- p = كلفة الطاقة بالبنس (pence) لكل وحدة
- a = مقطع الخط بواحدة mm^2

من العلاقة أعلاه، يمكن الحصول على المقطع الأمثل لأي خط ناقل، ومن ثم يمكن تقريبه إلى أقرب حجم قياسي.

التعليمات البريطانية لخطوط النقل الكهربائي المعلقة

وضعت التعليمات البريطانية لعام 1970 (للخطوط المعلقة) المعيار الأساسي الذي يتحكم بتصميم خطوط النقل المعلقة، وقد حلت محلها جزئياً تعليمات التغذية الكهربائية لعام 1988. فقد سمحت هذه التعليمات باستبعاد الجليد كحمل على الناقل، غير أنها زادت من ضغط الريح إلى 760 N/m على مسقط مساحة القضيب الناقل، ورفعت عامل الأمان حتى 2.5. طبق ذلك على بنية الخطوط عالية التوتر الخفيفة ذات حجم مقطع عرضي مكافئ لناقل نحاسي بمقطع أقل من $35\ mm^2$، وتجاوز للجهد قدره 650 V على ألا يتخطى 33 kV، بفرض درجة حرارة دنيا قيمتها $-5.6^{o}C$.

من أجل بنية الخطوط الثقيلة، أي النواقل المكافئة لناقل نحاسي بمقطع أكبر من $35\ mm^2$، عندما يتجاوز الجهد حاجز 650 V، ومن أجل الخطوط التي لا تتجاوز 650 V، يؤخذ عامل الأمان 2، بافتراض نفس درجة الحرارة الدنيا للخطوط الخفيفة، لكن مع قوة ريح 380 N/m على مسقط مساحة الكتلة المتزايدة للناقل، يزداد قطر الخط الذي يتجاوز 650 V بمقدار 19 mm وللخطوط التي لا تتجاوز 650 V بمقدار 9.5 mm. بدون ضغط ريح مؤثر على الدعامات يكون عامل الأمان لبنية الخطوط الخفيفة عالية التوتر 2.5. من أجل بنية الخطوط الثقيلة وجميع الخطوط التي لا تتجاوز 650 V ، فإن عامل أمان الدعامات يساوي 2.5 مع ضغط ريح $380\ N/m^2$ مؤثرة على الدعامات، والأجزاء الفولاذية، والعوازل الكهربائية ...الخ.

يؤخذ ضغط الريح على الأطراف المحجوبة عن الريح للشبكة الفولاذية أو أي بنى مركبة أخرى تتضمن A و H على أنه نصف ضغط الريح للأطراف المعرضة لها، ويحسب عامل الأمان على الحمل الحرج للدعامات وعلى الحد المرن لعناصر الشد.

المقاومة الميكانيكية لخطوط النقل الكهربائي المعلقة: من الشكل (8.5)، يمكن حساب قوة شد الخط الناقل المعلق من العلاقة:

$$T = \frac{\omega L^2}{8s}$$

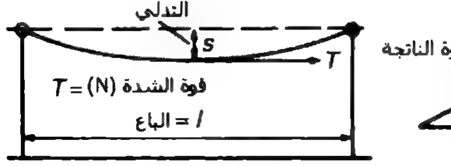
حيث:

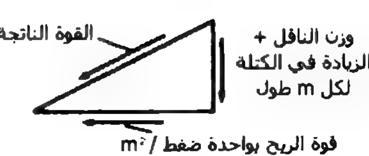
ω = الوزن الكلي المكافئ للناقل N/m

L = طول الباع (الامتداد) m

s = التدلي m

T = قوة الشد N





الشكل (8.5) الخطوط المعلقة

إذاً، يجب تصميم الناقل لمقاومة هذا الضغط أو الشد مع مراعاة عامل الأمان المناسب (والذي يتراوح بين 2.0 و 2.5). يمكن حساب مساحة مقطع الناقل من حل المعادلة التالية بالنسبة لـ a:

$$T = a \times ft \times \frac{1}{\text{عامل الأمان}} \quad N$$

وبتحديد درجات الحرارة، يمكن حساب T_1 من العلاقة التالية:

$$E\,a\,\alpha(t_2 - t_1) + \frac{\omega_1^2 L^2 E a}{24 T_1^2} - T_1 = \frac{\omega_2^2 L^2 E a}{24 T_2^2} - T_2$$

حيث:

- E – معامل مرونة الناقل MN/m^2
- a – مساحة المقطع العرضي للناقل mm^2
- α – معامل التمدد الطولي لكل درجة مئوية
- t_1 – درجة الحرارة الابتدائية °C
- t_2 – درجة الحرارة النهائية °C
- ω_1 – الوزن الابتدائي N/m
- ω_2 – الوزن النهائي N/m
- L – طول الباع m
- T – قوة الشد N
- T_1 – قوة الشد الابتدائية N
- T_2 – قوة الشد النهائية N
- s – تدلي الناقل m
- d – قطر الناقل mm
- r – السماكة القطرية للجليد mm
- p – ضغط الريح N/m^2
- f_t – قوة شد انهيار الناقل N/mm^2

سماحية الكتلة المتزايدة: وضعت التعليمات الكهربائية (للخطوط المعلقة) لعام 1970 سماحية للجليد على الخط عرفت باسم الكتلة المتزايدة، وتحسب من العلاقة:

$$\omega_l = \omega_i \times r \times (d + r) \qquad kg/m$$

حيث:

ω_i - كتلة الجليد في واحدة الطول kg/m

ω_i - وزن الجليد kg

r - السماكة القطرية للجليد mm

d - قطر الناقل mm

سماحية الريح: يعبر عن ضغط الريح بواحدة N/m^2، من أجل خطوط النقل المشمولة في التعليمات الكهربائية لعام 1970، القائمة 2، الجزء 1، تؤخذ قوة الريح على أنها 760 N/m من أجل الخطوط التي لا تتجاوز مساحة مقطعها العرضي $35\ mm^2$ لناقل نحاسي مكافئ، حيث يتجاوز جهد المنظومة 650 V ولا يصل إلى 33 kV.

تطبق القائمة 2، الجزء 1 من التعليمات البريطانية لعام 1970 على الخطوط الناقلة الأخرى غير المشمولة في الجزء 1، وتؤخذ قوة الريح لمثل هذه الحالة بمقدار $380\ N/m^2$.

سماحية الوزن الفعال: في العديد من الحسابات، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار كل من سماحية الريح، والكتلة المتزايدة، المؤثرتين على الخط الناقل. ويكون الوزن الفعال ω محصلة للاعتبارات المتخذة بالنسبة لتأثير وزن الناقل وحمل الريح عليه.

$$\omega=\sqrt{(\text{الجليد} + \text{وزن الناقل})^2+(\text{حمل الريح})^2}$$

$$\omega=\sqrt{[\omega_c+\omega_i\times r\times(d+r)]^2+[p\times(d+2r)]^2}$$

في العديد من الحالات، تكون مساحة المقطع العرضي للناقل (a) ثابتة، ويكون من الضروري حساب مقدار التدلي (s) لطول باع محدد (L) من أجل قيمة محددة لقوة الشد (T):

$$T=\frac{\omega L^2}{8s} \qquad s=\frac{\omega L^2}{8T}$$

يؤخذ ضغط الريح من أجل البنى الخفيفة لخطوط التوتر العالي بمقدار $760\ N/m^2$ تؤثر على الخط الناقل.

$$\omega = \sqrt{(\omega_e + \omega_i)^2 + \omega_\omega^2}$$

حيث:

ω_e = وزن الناقل في واحدة الطول g/m

ω_i = الكتلة المتزايدة g

ω_ω = ضغط الريح على القطر المتزايد g/m^2

مردود أنظمة النقل والتوزيع

الطريقة الاعتيادية المتبعة في مقارنة مردود أي منظومة نقل أو توزيع هي مقارنة وزن النحاس اللازم لنقل حمل معين عند جهد معطى، مع الضياع أثناء النقل نفسه. ولهذا الغرض، غالباً ما يتخذ سلكي التيار المستمر كمرجع قياسي تتم مقارنة المنظومات الأخرى معه من ناحية الوزن الإجمالي الضروري من النحاس.

بالرجوع إلى الشكل (8.6)، يتم اعتبار الوزن بالنسبة لنظام سلكي التيار المستمر 100%، ويشار إلى وزن النحاس اللازم لبقية الأنظمة الأخرى المختلفة. من المهم الملاحظة بأن هذه الحسابات مبنية على أساس اعتبار نفس الجهد الأعظمي بالنسبة للأرضي. ويعني ذلك في حالة أنظمة التيار المتناوب بأنه يجب استخدام (القيمة المنتجة) $V/\sqrt{2}$ في الحسابات. من أجل منظومة التيار المتناوب ثلاثي الطور، فإن V_1 يساوي إلى $V/\sqrt{2}$ حيث يساوي V عددياً إلى جهد التيار المستمر.

في هذه المقارنات، يؤخذ عامل استطاعة واحدي لحمل التيار المتناوب. ويفترض في النظام ثنائي وثلاثي ورباعي الأسلاك أن تكون الأحمال متوازنة. سيتضح فيما بعد بأن المنظومة الأفضل هي منظومة التيار المستمر ثلاثي الأسلاك من حيث حاجتها إلى أدنى وزن نحاس كلي بالمقارنة مع الأنظمة الأخرى.

الاسم	مخطط الحمولات	التمثيل البياني	الأوزان المكافئه للنواقل المركبة من أجل نفس النسبة المئوية للضياعات ونفس الجهد الأعظمي بالنسبة للأرضي وعامل الاستطاعة = 1
تعديه مستمرة بسلكين	i	V	100
تعديه مستمرة بثلاثة أسلاك	i_1، $i_1 - i_2 = 0$، i_2	$2V$، V، V	31.25
أحادي الطور بسلكين	i	V_1	200
أحادي الطور بثلاثة أسلاك	i_1، $i_1 = i_2$ الحيادي، i_2	$2V_1$، V_1، V_1	62.5
ثنائي الطور بأربعة أسلاك	i_1، i_2، i_2، i_1	V_1، V_1	200
ثلاثي الطور مثلثي	i_1، i_2، i_3، $\sqrt{3}i_1$، $\sqrt{3}i_2$، $\sqrt{3}i_3$	V_1	50
ثلاثي الطور نجمي	i_1، i_2، i_3	$\sqrt{3}V_1$، V_1	50
ثلاثي الطور بأربعة أسلاك	i_1، i_2، i_3، $i_1 = i_2 = i_3$، Neutral	$\sqrt{3}V_1$، V_1	58.3

الشكل (8.6) مقارنة الأنظمة. الحيادي مأخوذ بنصف حجمه. في الدارات المتناوبة فإن قيمة الجهد هي القيمة المنتجة. تعتمد المراديد على نفس نسبة الطاقة المنقولة.

حجم الحيادي: في الأنظمة ثلاثية ورباعية الأسلاك التي تستخدم الحيادي، يمكن أن يساوي حجم الخط الحيادي إلى حجم الخطوط الأخرى أو إلى نصف هذا الحجم. تم اعتبار حجم الحيادي بالنسبة للأنظمة العائدة للشكل (8.6) إلى النصف. ومن

أجل الحالة التي يكون فيها حجم الحيادي بحجم الخطوط الكامل، فإنه يجب اعتبار سماحية الزيادة في وزن النحاس. من أجل الحيادي المستخدم في الأنظمة ثلاثية الطور رباعية الخطوط، يزداد الوزن الكلي للنحاس بمقدار السبع، وهذا ما يجعل رقم المقارنة 67% بالمقارنة مع نظام التيار المستمر ثنائي الخط.

الخلوص الأرضي الأصغري: تغطي تعليمات التغذية الكهربائية لعام 1988 متطلبات أمان خطوط النقل المعلقة، بما فيها الارتفاعات الدنيا، الموضع، العزل، الحماية من المصدر، والاحتياطات الواجب اتخاذها ضد الوصول غير الشرعي لها. فيما يتعلق بالارتفاعات الدنيا المعلن عنها في القائمة 2 من هذه التعليمات والتي يعرضها الجدول (8.1)، يكمن الفارق الرئيسي في هذه القائمة بالمقارنة مع أنظمة الخطوط المعلقة لعام 1970 في أنه تم إضافة نهاية عليا لعدم تجاوز 440000 V إلى مجموعة الجهد الأعلى، حيث لم تكن هذه النهاية موجودة مسبقاً. ولا وجود لشروط درجة حرارة العمل العظمى للناقل، فقد ترك تحديدها لمسؤولي التغذية، وتنادي هذه التعليمات بخلوص أرضي أصغري ملائم للناقل عند درجة حرارته العظمى الملائمة (سواءً كان في الاستخدام أم لا).

الجدول (8.1) الخلوص الأرضي الأصغري

الجهد (kV)	عند مواضع سهلة الوصول لحركة مرور المركبات (m)	عند مواضع ليست سهلة الوصول لحركة مرور المركبات (m)
لا يتجاوز 33	5.8	5.2
بين 33 و 66	6.0	6.0
بين 66 و 132	6.7	6.7
بين 132 و 275	7.0	7.0
بين 275 و 440	7.3	7.3



الكبـــلات

الكبلات الأرضية

حتى العام 1970 كانت الكبلات المستخدمة في توزيع الطاقة تحت الأرض للتغذية العامة في المملكة المتحدة بجهود تصل إلى 33 kV من نوع الكبل المخصب المعزول بالورق والمغلف بالرصاص. تحدد المواصفة القياسية البريطانية BS 6480 بنية ومتطلبات هذا النوع من الكبلات.

أدت التطورات اللاحقة كاستخدام التغليف بالألمنيوم، إلى زيادة تبني أنظمة PME من قبل صناعة تغذية الطاقة الكهربائية، وبشكل خاص، أسفرت النزعة العالمية المتنامية نحو استعمال الكبلات ذات عوازل المواد الصنعية المبثوقة، عن تراجع جزئي لاستخدام هذا النوع من الكبلات في المنشآت الحديثة، غير أنه ظل يشكل النسبة الأكبر للكبلات المركبة سابقاً.

الكبلات المصمتة: عرف نوع الكبل الموصوف في BS 6480 تقليدياً باسم "النوع المصمت" لتميزه عن أنواع كبلات الغاز المضغوط، والمملوءة بالزيت المعزولة بالورق والمستخدمة للجهود التي تتخطى 33 kV وبشكل مغاير للكبلات المصمتة من أجل 33 kV. ربما أصبح هذا المصطلح قديماً بالنظر إلى نمو الكبلات ذات العوازل المبثوقة، التي يمكن اعتبارها مصمتة أكثر من الورق المخصب. تتكون نواقل الكبل عادةً من النحاس المجدول أو الألمنيوم المجدول، مع وجود بعض الاستخدام لنواقل الألمنيوم المصمت للكبلات المقدرة بـــ 600/1000 V. تتألف النواقل المجدولة من عدد من

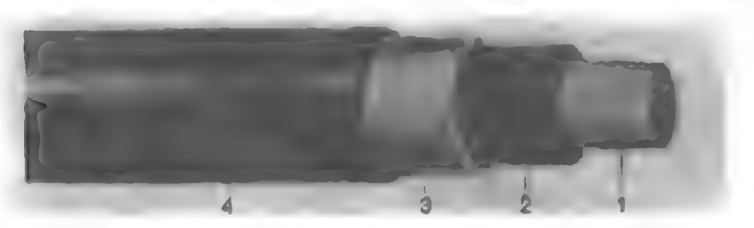
الأسلاك المجمعة مع بعضها البعض في طبقات حلزونية حول سلك أو مجموعة من الأسلاك المركزية، تؤمن المرونة وسهولة الاستعمال بشكل عام.

تطبق العوازل على شكل أُشرطة ورقية في طبقات حتى الوصول للسماكة المطلوبة، والتي يحددها مجال الجهد المحدد للكبل. وعادةً تتم عملية تخصيب الورق بمركب عازل عبر عملية تدعى "التخصيب الجماعي" والتي تنفذ تطبيق الأشرطة الورقية. يجفف الكبل ويفرغ ضمن وعاء كتيم يجري دخول المادة المخصبة الساخنة إليه. هناك طريقة أخرى أقل استخداماً تشمل على تخصيب جزء من الأوراق قبل تطبيقها على النواقل. يستخدم نوع المادة المخصبة لمرة واحدة، وتتكون عادةً من زيت معدني مغلظ بمادة راتنجية. وقد استبدلت في المملكة المتحدة حالياً بمركبات غير مصفاة تحوي على نسبة معينة من مادة شمعية ذات بنية بلورية دقيقة ونقطة انصهار عالية. وقد يؤدي استعمال مركبات الزيت–الراتنج ضمن شروط معينة إلى بعض المشاكل الناتجة عن التخصيب.

عند تعرض السائل المستخدم في عملية التخصيب لدرجات حرارة أعلى من مجال درجات الحرارة الطبيعية لعمل الكبلات، تؤدي المركبات الصلبة غير المصفاة إلى إكساب الكبل قواماً لدناً بشكل جيد لتؤمن إمكانية ثني الكبل وانحنائه بشكل جيد. بعد تقديمه للكبلات ذات التقدير 600/1000 V وباتجاه نهاية عام 1940، تم اختصار كبل التخصيب الجماعي غير المصفى إلى MIND، وقد طور بشكل تدريجي لزيادة الجهود حتى أصبح في المملكة المتحدة الكبل القياسي بالفعل من النوع المصمت المعزول بالورق على كامل مجال الجهد.

يوضح الشكل (9.1.a) الكبل المصمت أحادي القلب المغلف بالرصاص والمعزول بالورق المخصب في أبسط أشكاله. حيث يتم بثق غلاف خليطة رصاص تحيط بالقلب المعزول ومن ثم تتم حمايته عن طريق بثق غلاف خارجي من مادة PVC.

الغلاف المعدني هو مركب أساسي لمنع الماء، الذي إن وجد بكميات كبيرة، فإنه يقضي على خواص عازلية الورق المخصب. يعتبر غلاف PVC الخارجي الشكل القياسي لحماية الكبلات أحادية القلب المستعملة بكثرة في النواقل البينية المركبة في الأقسام الداخلية للأبنية على الأقل، وفي محطات التوزيع، حيث يفضل إنهاؤه بشكل نظيف الأمر الذي لا يساعد على انتشار النيران بيسر.



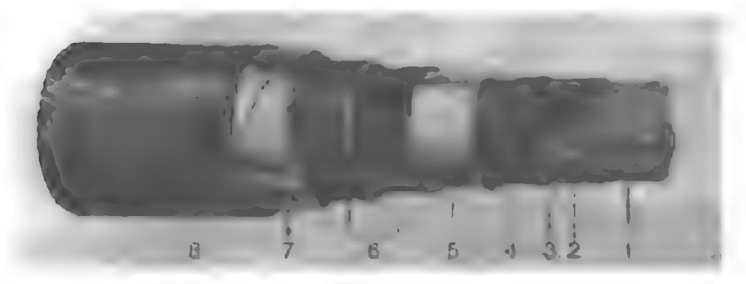
الشكل (9.1.a) كبل مصمت أحادي القلب مغلف بالرصاص ومحمي بغلاف PVC

1. ناقل دائري مسحوب
2. ورق مخصب عازل
3. غلاف من خلائط الرصاص
4. غلاف حماية من PVC

يمتلك الكبل أحادي القلب استخدامات محددة، ويستخدم عادةً تركيب متعدد القلوب (فيما عدا التيارات المرتفعة جداً، هناك متطلبات كبيرة للنواقل وإلى حد ما للنواقل البينية القصيرة). يمتلك الكبل ذو المعدل 600/1000 V والذي يقبل جهد التغذية المنزلية القياسي 230/400 V، أربعة نواقل، ثلاثة نواقل لتيارات الأطوار ورابع للحيادي. التصميم النموذجي لهذا الكبل موضح في الشكل (9.1.b). للنواقل فيما عدا الأحجام الصغيرة، مقطع عرضي مشكل، وبالتالي عند ربط القلوب (النواقل المعزولة) معاً، فإنها تشكل كبلاً دائرياً مدمجاً مع فراغات دنيا في المركز وعند الحواف وعند الزوايا المدورة للقلوب، يتم تعبئتها بسلاسل ورقية أو بغزول القنب، وبذلك يتم تخفيض قطر الكبل وبالتالي كمية رصاص الغلاف والتدريع.

تحيط أوراق عزل إضافية بالقلوب المربوطة، وتكوّن العزل الشريطي. تتم إضافة الغلاف الرصاصي بعد تخصيب الكبل، حيث يقوم بحماية الأشرطة الورقية ومن ثم يحاط بمواد ليفية الخيش أو القطن عادةً وتخصب جميعها بالقار. يوفر ذلك أرضية شريط التدريع الفولاذي الذي يغطى تباعاً بالقار وطبقات إضافية من المواد الليفية المشبعة بالقار. استخدم شريط التدريع الفولاذي تقليدياً لكبلات التغذية الكهربائية الصناعية 600/1000V واستخدم السلك الفولاذي المغلفن لكبلات الجهود الأعلى

إلى حد ما لتأمين التطابق مع كبلات 600/1000V، إذاً يستخدم الكبل المدرع حيث تدعو الحاجة لمتانة طولية (مثل الكبلات المسحوبة ضمن المجاري ذات الأطوال الكبيرة) وكذلك للحماية ضد الصدمات والتعرية. تم تجربة ملاءمة المواد الليفية المشبعة بالقار (الزفت) عموماً لحماية الكبلات المغلفة بالرصاص من التآكل. فالمادة بحد ذاتها غير حساسة للتآكل في معظم الظروف والشروط تحت الأرض، ولكن في البيئات القاسية يمكن بشكل عام استخدام الأغطية المبثوقة من مادة PVC . تتألف الكبلات الملائمة للجهود العالية من ثلاثة قلوب عادةً، تتشابه بنية كبلات الجهود التي تصل لغاية 11 kV من حيث المبدأ مع كبلات 600/1000V، وطبعاً مع سماكة أكبر للعازل، وتختلف العمليات التصنيعية من حيث التفاصيل اللازمة للعمليات الكهربائية ذات الإجهادات الأكبر.



الشكل (9.1.b) كبل بأربعة قلوب مغلف بالرصاص

1. الناقل المشكل بالسحب
2. ورق مخصب عازل
3. مواد ملء
4. شريط ورق مخصب
5. غلاف، رصاص أو خليطة رصاص
6. بطانات
7. درع فولاذي
8. طبقات حماية اضافية

من أجل الجهود الأعلى من 11 kV تمنح البنية الشريطية مكاناً للكبل المستور. فعند الجهد 11 kV يمكن تطبيق أي من النوعين، غير أن النوعية الشريطية هي الأكثر استخداماً. في الكبل الشريطي، يتم تطبيق نصف سماكة العازل بين النواقل على كل قلب، أما في النوع ذي القلوب المرتبطة، يطبق التوازن المطلوب من السماكة المطلوبة إلى الأرض كشريط. في الكبلات ذات النوع المستور، يتم تطبيق سماكة العازل المطلوب بالكامل على كل قلب، حيث يتم تغطيته بعد ذلك بشريط معدني رفيع أو رقاقة من الورق و صفائح الألمنيوم تدعى بالورق المعدني.

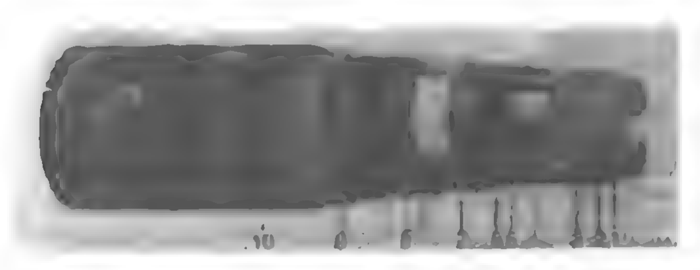
تحاط القلوب المستورة المربوطة بشريط يحوي بعض الأسلاك النحاسية في النسيج، بحيث أنه، عندما يطبق الغلاف الرصاصي إلى الستارات (Screens)، فإنه سيكون على تماس كهربائي معه. وتستبعد الحشوات - الضعيفة كهربائياً مقارنةً مع العوازل المتراكبة - في الكبل المستور من الحقل الكهربائي، ويكون اتجاه الحقل في القلوب قطرياً عبر سماكات الورق. توصف الكبلات المستورة أحياناً بالكبلات ذات الحقل القطري "radial-field cables".

يبين الشكل (9.1.c) نموذجاً للكبل المستور ثلاثي القلوب الموافق لجهد 11 kV. تعتبر ستارة ورق الكربون المطبقة على كل ناقل من المزايا القياسية لكبلات الجهود التي تفوق 11 kV في المواصفة BS 6480، وهي لتخفيض الإجهاد الكهربائي على سطح الناقل عن طريق تنعيم السطح الجانبي، ولاستبعاده عن الحقل توجد الفراغات الصغيرة بين الأسلاك في الطبقة الخارجية، التي يمكن أن تكون مواقع لتفريغ الشحنة من جهة ثانية.

تطبق ستارة ورق الكربون أيضاً على عازل الكبلات 11 kV أحادية القلب وعلى الكبلات الشريطية 11 kV للتخلص من عمليات التفريغ الكهربائي في الفراغات الكائنة بين سطح العازل الخارجي وسطح غلاف الرصاص الداخلي في المواقع التي لا يسبب فيها الأخير تماساً مغلقاً.

يشكل النوع 'SL' نموذجاً ثانياً من أشكال الكبل المستور ثلاثي القلوب من أجل 22 و 33 kV وهو ذو قلوب دائرية يغلف كل منها بالرصاص وتنحصر القلوب المغلفة مع بعضها البعض ويتم ختم وتدريع الكل. يقوم هذا التصميم بالتخلص فعلياً من

إمكانية الانهيار بين الأطوار ويمكن للقلوب أن تنتهي بشكل مستقل. ويميل هذا النوع ليكون الأكثر كلفة من الكبل ثلاثي القلب تحت الغلاف الرصاصي الشائع وليس له استخدام كبير في المملكة المتحدة.



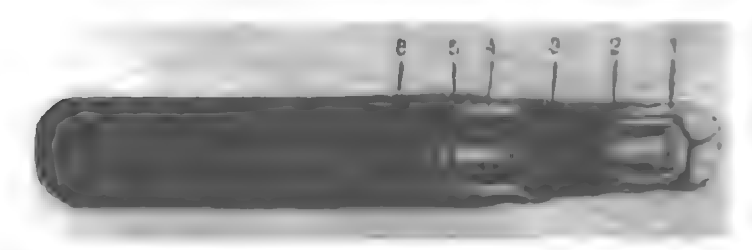
الشكل (9.1.c) كبل ثلاثي القلب مستور

1. الناقل المشكل بالسحب
2. ستارة ورق الكربون
3. ورق مخصب عازل
4. ستارة من شريط معدني مدرجة مع شريط الورق
5. مواد ملء
6. شريط نحاسي مصنع
7. غلاف من الرصاص أو خلائطه
8. بطانات
9. درع من سلك فولاذ مغلفن

كبلات Consac: استبدلت شبكات التغذية الكهربائية العامة في المملكة المتحدة، الكبل رباعي القلب (النوى) المعزول ورقياً والمغلف بالرصاص إلى حد كبير، بالكبلات CNE. وقد كان العامل الرئيسي لهذا التحول تبني التأريض الوقائي المتعدد (PME) من قبل شركات توزيع الكهرباء. فلم تعد هناك ضرورة لمواصلة فصل الناقل الحيادي عن الأرض بالنسبة لكبلات التوزيع الرئيسية وفي كبلات CNE وهي اختصار لعبارة Combined Neutral and Earth يتم توفير أحد النواقل فعلياً عن طريق ضم إحدى الوظائف المنجزة بواسطة الغلاف الرصاصي للكبل -تدبير احتياطي لمسار عودة الأرضي- مع وظيفة الناقل الحيادي.

الكبل CONSAC- كان سابقاً موضوعاً للمواصفة القياسية BS 5593 (والذي تم سحبه حالياً) - يتألف من ثلاثة نواقل من الألمنيوم، مصمت الشكل، معزول بالورق المخصب وغلاف من الألمنيوم المبثوق بأبعاد كافية لتقديم ناقلية تعادل تلك

اللازمة لنواقل الطور كحد أدنى. يشكل غلاف الألمنيوم هذا الناقل الحيادي والأرضي في الكبل كما يعتبر حاجزاً ضد الماء. يعرض الشكل (9.1.d) هذا النوع من الكبلات. إن المواد الليفية المشبعة بالزيت، والتي تستخدم عادة لحماية الأغلفة الرصاصية، غير ملائمة للعمل مع الألمنيوم كون هذا الأخير سريع الحساسية والقابلية للتآكل عند العمل تحت الأرض.



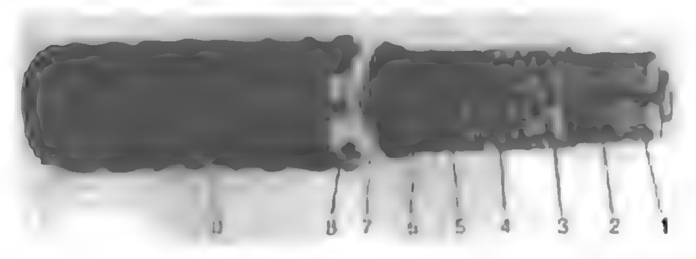
الشكل (9.1.d) كبل CONSAC نموذجي لاستخدامه في أنظمة الجهد المنخفض PME

1. نواقل صلبة من الألمنيوم
2. ورق عزل القلب
3. ورق عزل الحزام
4. غلاف ألمنيوم مبثوق ناعم
5. طبقة رقيقة من الزفت تحتوي على مقاوم للتآكل
6. غلاف حماية من PVC المبثوق أو من مادة البوليثين

يمتلك الكبل CONSAC غلاف خارجي من PVC المبثوق فوق طبقة من الزفت تقوم بختم الوصلة البينية الكائنة بين الألمنيوم والـ PVC. يعتبر هذا الشكل من الأشكال الاقتصادية جداً لكبل التوزيع LV، غير أنه أقل ملاءمةً للوصل على شكل الحرف T لكبلات الخدمة مقارنة مع النوع ذي العازل المبثوق والخط الحيادي المتمركز ذي الشكل الموجي والذي حل محله بشكل واسع. هذا الأخير سيتم وصفه لاحقاً.

كبلات 11 kV المغلفة بالألمنيوم: أدى توفر آليات الضغط الضرورية لبثق أغلفة الألمنيوم إلى اعتماد كبلات 11 kV المغلفة بالألمنيوم من قبل شركات توزيع الطاقة الكهربائية وقد أثمر ذلك عن فوائد اقتصادية. بالرغم من عدم استبدال كبلات 11 kV المغلفة بالرصاص بشكل كامل، فإن النوع المغلف بالألمنيوم يشكل النوع الذي

يتم شراؤه حالياً. تم استخدام الأغلفة المموجة والمصقولة، وتمت حمايتها بغلاف PVC خارجي تم تطبيقه فوق طبقة من الزفت. لكل نوع من الأغلفة بعض السلبيات وبعض الإيجابيات. غير أن مرونة الأغلفة المموجة الكبيرة كانت السبب الرئيسي وراء تفضيلها عادةً من قبل المستخدم. يوضح الشكل (9.1.e) كبل 11 kV مموج ومغلف بالألمنيوم، حتى الغلاف يشابه الكبل المغلف بالرصاص، ولكن هناك حاجة للتعبئة الجزئية للفراغات الناتجة عن التموج تحت الغلاف. تتوفر كلاً من التصاميم الشريطية والمستورة، غير أن الأكثر استخداماً هي التصاميم الشريطية.



الشكل (9.1.e) كبل 11KV مموج ومغلف بالألمنيوم

1. ناقل مشكل بالسحب
2. ستارة ورق كربون
3. ورق عازل مخصب
4. مواد ملء
5. شريط ورق مخصب
6. ستارة ورق كربون
7. غلاف من الألمنيوم المموج
8. زفت يحوي مضاد للتآكل
9. غلاف حماية مبثوق من PVC

الكبلات المعزولة بمادة PVC: قبل العام 1970 كانت تعتبر كبلات السلك المدرعة والمعزولة بمادة PVC والموصفة بالمواصفة BS 6346 النوع الأساس للمنشآت الصناعية ومحطات الطاقة للجهود حتى 3.3 kV. يمكن تشكيل مركبات PVC لتقدم مجالاً من المرونة والصلابة، غير أنها تبقى مادة ذات لدونة حرارية تلين عند درجات الحرارة المرتفعة. في التطبيقات حيث الأحمال العظمى المراد تطبيقها معروفة بدقة ومحمية تماماً ضد التحميل الزائد عن طريق المنصهرات أو وسائل أخرى، لضمان عدم الوصول لدرجات الحرارة المؤذية. لا يعتبر ذلك من السلبيات الهامة. لكن من أجل

نظام التغذية العامة (التوتر المنخفض L.V)، هناك أولوية للكبلات التي تتحمل الحمولات الزائدة من حيث كبر السعة وفترة التطبيق، في حين أن الكبلات المعزولة بمادة PVC ذات استخدامات محددة ضمن هذا النطاق فقط.

هناك ميزة خاصة لأنواع العوازل المبثوقة، مثل PVC، تكمن في أن هذه الأنواع أقل تأثراً بالرطوبة بكثير من الورق، والإنهاء يصبح أبسط اعتماداً على ذلك. ليس هناك أغلفة معدنية مثقلة بالرصاص ولا حاجة لتطويق النهايات بمواد مقاومة للماء.

تكون النواقل في هذا النوع من الكبلات من النحاس المجدول أو الألمنيوم المصمت. تكون نواقل الألمنيوم المجدول عملية ومناسبة تماماً وتتوفر في بعض الأحيان عندما تطلب من قبل المستخدمين وراء البحار، لكنها مدرجة في المواصفة BS 6346 على أساس استخدام نواقل الألمنيوم الأكثر اقتصادية. بالتالي يمكن التوصل إلى الاقتصادية الكاملة عن طريق استعمال الشكل المصمت، والذي يناسب بشكل خاص عوازل الـ PVC.

كما هو حال الكبلات المعزولة بالورق، تكون نواقل الكبلات متعددة القلب ذات مقطع عرضي مشكل - باستثناء الأحجام الصغيرة منها. يتم بثق مركب PVC على الناقل عن طريق تقنية تسمح بتطبيق سماكة منتظمة على البروفيل الجانبي المشكل. يبثق العازل بالحالة اللدنة الساخنة ومن ثم يبرد من خلال تمريره بمجرى مائي. يتم تجميع (جدل) العدد الضروري (المطلوب) من القلوب معاً، على شكل طبقة حلزونية وبدون حشوات غير مرطبة، عندما تدعو الحاجة للحصول على مقطع عرضي دائري مربوط يطبق مركب كل من أشرطة الـ PVC أو طبقة من PVC المبثوقة فوق القلوب المجدولة لتؤدي مهمة التأسيس للدرع. تعد أشرطة PVC البديل الأرخص للكبلات ذات النواقل المشكلة، وتستخدم غالباً بشكل أكبر للكبلات التي سيتم تركيبها في الهواء، ما لم يكن ذلك ضرورياً، يجب ختم الحشوة المنتهية على الأساس. بينما الشكل المبثوق أكثر ملاءمة. قد يكون الدرع من أسلاك الفولاذ المغلفن أو أشرطة الألمنيوم. وهو يقوم، بالإضافة لتقديم الحماية الميكانيكية، بتأمين استمرارية الأرضي بنفس الطريقة التي يؤمنها الغلاف المعدني على الكبل المعزول بالورق.

الكبلات المعزولة بـ XLPE: إن XLPE هي الاختصار الشائع لمادة البولي إيتلين (polyethylene) ذات الترابط المستعرض. تمثل هي وبعض المواد الصنعية الأخرى ذات الترابط المستعرض والتي منها EPR (ethylene propylene rubber) أمثلة بارزة بدأ استخدامها يتنامى كعوازل للكبلات المستخدمة لمجالات واسعة من الجهد.

تمتلك مادة polyethylene مميزات كهربائية جيدة، وبشكل خاص عامل ضياع عازلية كهربائية منخفض، تعطيها القابلية للاستخدام من أجل الجهود العالية جدا بالمقارنة مع مواد PVC. استخدمت مادة polyethylene وما تزال كعازل للكبلات، غير أنها تماثل المواد المتلدنة حرارياً في انحسار تطبيقاتها بسبب القيود الحرارية. يمثل الارتباط المستعرض الأثر الناجم عن تصليد المطاط، ولمواد مماثلة لـ XLPE فإن عملية الارتباط المستعرض توصف غالباً بالغلفنة Vulcanization أو الإنضاج Curing. تقوم بعض الكميات الصغيرة من الإضافات الكيميائية للبوليمر بقيادة السلاسل الجزيئية للارتباط بشكل مستعرض ضمن نظام تشكيل شبكي عن طريق معالجة مناسبة بعد عملية البثق.

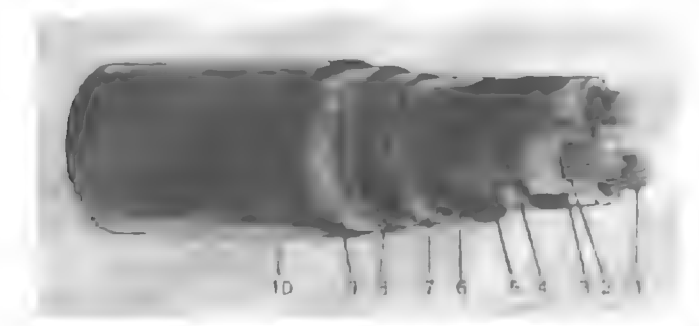
يكمن تأثير الارتباط المستعرض في منع حركة الجزيئات بالنسبة لبعضها البعض تحت تأثير التحفيز الحراري، الأمر الذي يسفر عن تحسن في الاستقرار عند درجات الحرارة المتصاعدة بالمقارنة مع المواد اللدنة حرارياً. وهذا ما يسمح بدرجات حرارة عمل أعلى لشروط التحميل العادية أو شروط الدارة القصيرة. إذاً، يمتلك كبل XLPE معدل حالي أعلى من نظيره المكافئ له من PVC. تتسارع آثار التقادم كلما ازدادت درجات الحرارة وهذا ما يجب أخذه بالحسبان أيضاً، ولكن في هذا المجال فإن كبل XLPE هو صاحب المميزات المفضلة.

تحدد المواصفات BS 5467 بنية ومتطلبات الكبلات المعزولة ذات النواقل المدرعة XLPE و EPR لجهود حتى 3.3 kV. هذه البنية تماثل بشكل أساسي بنية كبلات PVC المحددة بالمواصفة BS 6346 مع استثناء الخلاف بماهية المادة العازلة. بسبب ارتفاع متانة XLPE تكون سماكات العزل منخفضة بشكل طفيف بالمقارنة مع PVC. يغطي المعيار كذلك الكبلات المعزولة بمادة HEPR (Hard ethylene propylene rubber)، غير أن مواد XLPE هي المواد الأكثر استخداماً بشكل عام.

تغطي المواصفة BS 6622 الكبلات المعزولة بالمواد XLPE و EPR ، لمجال الجهود الممتد من 3.8 kV إلى 33 kV، من حيث تحديد البنية والأبعاد والمتطلبات. يعتبر الشكل المبلمر لعزل الكبلات الشكل الأكثر تأثراً بالتفريغ الكهربائي مقارنةً مع الورق المخصب. وعند الجهود العالية حيث تكون الإجهادات الكهربائية مرتفعة بما فيه الكفاية لدعم التفريغ، تبرز ضرورة تصغير الفراغات الغازية خلال العزل أو عند سطوحه الداخلية والخارجية. تمتلك كبلات XLPE المناسبة لجهود تعادل 6.6 kV وأعلى، ستارات نصف ناقلة محيطة بالناقل و بكل قلب معزول. والستار الناقل هذا عبارة عن طبقة رقيقة تبثق بنفس العملية كالعوازل، والارتباط المستعرض فيها، وبالتالي تنضم كلتا المركبتين مع بعضهما البعض بشكل كتيم. يمكن أن يكون الستار المحيط بالقلب عبارة عن طبقة مشابهة مبثوقة أو طبقة من طلاء نصف ناقل بشريط نصف ناقل محيط به.

تستخدم التصاميم أحادية وثلاثية القلب، وهناك مجال لاختلافات بنيوية تتعلق بشروط الاستخدام، خضوع القلوب المحاطة بشكل مستقل أو كتجميعة ثلاثية القلب بطبقة معدنية يمكن أن تكون عبارة عن درع أو أسلاك نحاسية أو أشرطة. يبين الشكل (9.1.f) البنية النموذجية المدرعة المتوفرة بكميات كبيرة.

يعتبر هذا النوع من الكبل، بشكل رئيسي، والشكل أحادي القلب، النوعان المفضلان في بريطانيا لكبلات محطات الطاقة حيث يؤخذ بعين الاعتبار بشكل أساسي خفة الوزن، والإنهاء المناسب. تستخدم التصاميم ثلاثية القلب أيضاً لمواقع التغذية. في عمليات التوزيع تحت الأرض عند جهود 11 kV، لا يعتبر كبل XLPE منافساً اقتصادياً مع الكبل المعزول بالورق والمغلف بالألمنيوم، غير أن العمل ما يزال مستمراً لتطوير وتحسين كبل XLPE بما فيها عمليات التركيب التجريبية، وذلك للتحضير لأي تعديل يطرأ على الوضع. في بعض البلدان الأخرى، حيث الظروف مختلفة هناك، يمثل نوع الكبل XLPE النوع الرئيسي المطلوب. تم توجيه التسهيلات الصناعية بشكل متزايد إلى هذه السوق، حيث يشكل الإنتاج البريطاني الحصة الأكبر لهذه الكبلات.



الشكل (9.1.f) كبل XLPE

1. ناقل دائري مسحوب
2. ستارة من المادة XLPE نصف الناقلة
3. عازل XLPE
4. ستارة شريط نصف ناقل
5. ستارة شريط نحاسي
6. مادة ملء من PVC
7. مادة داعمة
8. غلاف PVC مبثوق
9. درع من سلك فولاذ مغلفن
10. غلاف حماية مبثوق من PVC

كبل الألمنيوم الموجي: كثيراً ما يدعى كبل الألمنيوم الموجي بـ 'Waveconal'، وهو نوع من كبل توزيع للتغذية العامة CNE 600/1000 V يستعمل XLPE كعازل. ويشكل حاليا النسبة الأكبر من الكبلات المباعة من قبل صناعة التغذية الكهربائية. كما هو الحال بالنسبة لكبل CONSAC فهو يمتلك ثلاثة نواقل طور من الألمنيوم الصلب، أما العزل فهو من مادة XLPE (أو من مادة HEPR كخيار بديل). تكون القلوب المرتبطة محددة مع طبقة شريط مفتوح ومغطاة بمطاط غير مغلفن مركب ضمنه وبشكل جزئي أسلاك من الألمنيوم الموضوعة على شكل أمواج تشكل الحيادي المشترك والناقل الأرضي، تحيط طبقة أخرى من المطاط المركب بأسلاك الألمنيوم وتنضغط بين الفتحات لتندمج مع الطبقات التحتية. تنحصر الأسلاك المركزية عملياً في المطاط المركب لحمايتها من التآكل ولمنع انتشار الماء فيما بينها حيث يتضرر الغلاف الخارجي المبثوق عموماً من مادة PVC. يوضح الشكل (9.1.g) هذا الكبل.



الشكل (9.1.g) كبل الألمنيوم الموجي Waveconal

1. نواقل صلبة من الألمنيوم
2. قلب عازل من XLPE
3. مطاط مضاد للتآكل
4. أسلاك المنيوم
5. غلاف حماية مبثوق من PVC

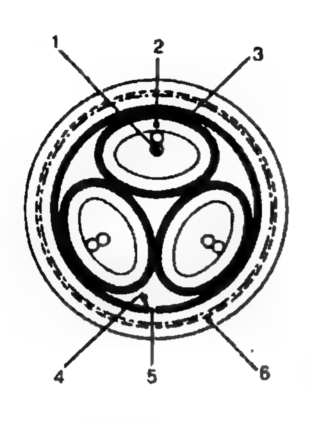
يسمح تطبيق الشكل الموجي للناقل المركزي برفع الأسلاك من الكبل الذي يقع أسفلها دون الاضطرار لقطعها، وذلك بغية الوصول إلى نواقل الطور بهدف إجراء صيانة الوصلات. وهذا مناسب بشكل خاص للمحافظة على استمرارية الحيادي/الأرضي أثناء فترة صلاحية الوصلة ويمكن أن يتم ذلك عند جهد 230 V بين الطور الأرضي عند إضافة الخدمات.

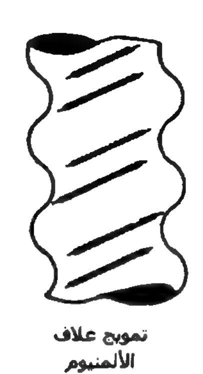
الكبلات المضغوطة: تتحدد الإجهادات الكهربائية لكبلات الحالة الصلبة بإمكانية تصريف سائل التخصيب وبآثار التمدد والتقلص الحراري التي تنتج عند تشكيل الفراغات الصغيرة ضمن العزل. يجب أن تكون سماكة العزل كبيرة بما يكفي لضمان عدم تسبب الإجهاد الكهربائي بتأين حاد وهدّام ضمن الفراغات، ولذلك وبالرغم من أن الكبلات من النوع المصمت، فإنها تستخدم من حين لآخر من أجل جهود أكبر من 66 kV. هذه الكبلات غير اقتصادية عادة كما أنها غير قابلة للاستخدام عملياً من أجل الجهود التي تتجاوز 33KV؛ لهذا تم تطوير الكبلات المضغوطة التي لا يمكن أن يحدث ضمنها تأين حتى بعد أن يتجاوز الإجهاد الكهربائي على العازل القيمة العظمى المسموح بها في النوع المصمت من الكبلات بثلاثة أو أربعة أضعاف.

كبلات الملء بالزيت: سميت الأشكال القديمة للكبل المضغوط بكبل الضغط المنخفض المملوء بالزيت، وقد ظل النوع السائد لتطبيقات الجهود الكبيرة التي تصل إلى 525 kV.

يتم اجتناب الفراغات من خلال استخدام زيت تخصيب ذي لزوجة منخفضة جداً ويتم تأمين خزان خارجي لتغذية الزيت يؤمن الحفاظ على حالة الإشباع الدائمة للعزل. تسمح الأقنية المتحدة مع الكبلات بمرور الزيت وتنتج عن التغيرات في درجة حرارة الكبل. تتوفر كبلات الملء بالزيت بأشكال ثلاثية القلب من أجل جهود حتى 150 kV. تستخدم كبلات أحادية القلب من أجل الجهود التي تفوق ذلك، كما تستخدم لإنهاء الكبلات ثلاثية القلب. تستخدم أيضاً الكبلات أحادية القلب لمجال الجهود الممتد من 33 kV وحتى 132 kV عندما تتجاوز مساحة مقطع الناقل المطلوب $630\ mm^2$.

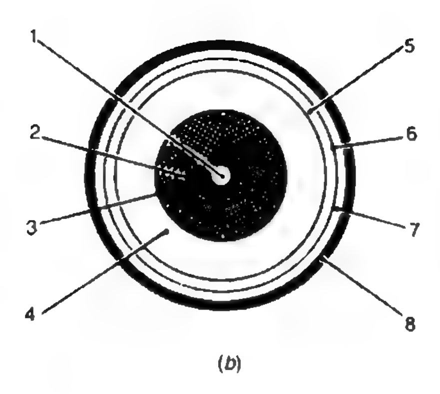
تم تصميم الكبل المملوء بالزيت ليعمل تحت ضغط زيت ينتمي للمجال من $30\ kN/m^2$ حتى $525\ kN/m^2$ للعزل الطبيعي، ولمقاومة الضغط الداخلي للزيت، يتم اللجوء إلى تدعيم الكبل بغلاف من شرائط معدنية من خليطة الرصاص. ليس هناك حاجة لدعم تصميم الكبل ذي غلاف الألمنيوم المموج. يجب توفير خزانات تغذية الزيت للمحافظة على ضغط الزيت ضمن المجال التصميمي. تبين الأشكال من (9.2.a) وحتى (9.2.d) العديد من أنواع كبلات التوتر العالي ذات الملء بالزيت.





(a)

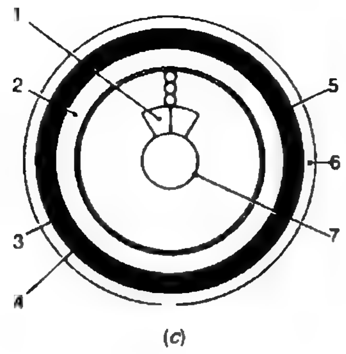
الشكل (9.2.a) بنية الكبلات ذات الملء بالزيت
1. الناقل 2. ورق عازل
3. ستارة القلب من ورق معدني وشريط القطن المصنع
4. ربط القلوب 5. غلاف المنيوم
6. المحيط المبثوق مضاد للتآكل



(b)

الشكل (9.2.b) بنية الكبل 400KV

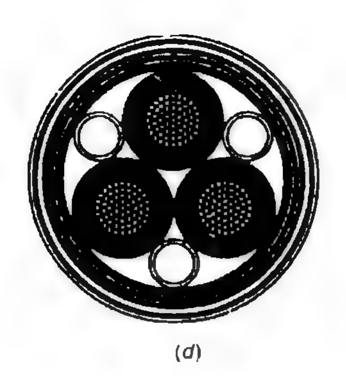
1. قناة الزيت
2. ناقل نحاسي بست قطع
3. أشرطة الستارة
4. ورق عازل مخصب بالزيت
5. أشرطة ساترة
6. غلاف من خليطة الرصاص
7. أشرطة مقواة بمادة البرونز والمصدر
8. أشرطة ملء قطنية وغلاف من مادة PVC أو PE



(c)

الشكل (9.2.c) ناقل ذاتي الدعم مجوف من أجل الكبلات أحادية القلب

1. ناقل يتضمن الستارة
2. الورق العازل
3. ستارة القلب
4. شريط مصنع من النحاس المجدول
5. غلاف ألمنيوم
6. غلاف خارجي من PVC أو البولي ايتيلين
7. قناة الزيت



(d)

الشكل (9.2.d) كبل بثلاثة قلوب بأقنية خدمة

كبلات ضغط الغاز الداخلي. في أنواع الكبل المضغوط الموصوفة أعلاه يمكن اجتناب حدوث الفراغات بواسطة ضغط الزيت، أما في كبل ضغط الغاز الداخلي فيتم قمع التأين ضمن الفراغات عبر إدخال النتروجين الذي يخترق العزل عند ضغط 1400 kN/m^2 ويزيد من مقاومة الانهيار إلى الحد الذي يفرض وجوده قيوداً حادة أو قاسية على إجهاد التشغيل. يمكن تخصيب العزل الورقي بشكل تام (كما في نوع الكبل المصمت) أو بشكل مغاير يمكن بناء العزل باستخدام أشرطة ورقية مسبقة التخصيب.

إجهادات التشغيل الكهربائية: يتم عزل كبلات النوع المصمت بسماكات تجعل من تجاوز الإجهادات الكهربائية العظمى للقيمة 4.5 MV/m أمراً نادراً. يمكن، واعتماداً على نوع الكبل وعلى جهد المنظومة،...الخ، أن تعمل الكبلات المضغوطة بإجهادات كهربائية من مرتبة 15 MV/m. من أجل خدمة الجهد 33 kV تقيد متطلبات الإجهاد النبضية إجهاد التصميم بالقيمة التقريبية 8.5 MV/m . وبالتالي فإن التوفير في سماكة العزل وبقطر الكبل بالنسبة للإجهادات البسيطة، كافٍ لجعل الكبلات المضغوطة كبلات اقتصادية.

سعات تحمل التيار: تتحكم بقدرة تحمل الكبل للتيار عدة عوامل منها ضرورة تبديد الحرارة الناتجة عن ضياعات القدرة في النواقل، العزل، والغلاف، ودرجة

الحرارة العظمى التي يعمل عندها العازل بشكل آمن (65-90°C) وتعتمد على الجهد، النوع، ...، الخ)، وكذلك من خلال أسلوب العزل.

بشكل عام، هذه القدرة تكون أقل في الكبلات المدفونة في الأرض عنها في الكبلات الموجودة في الهواء، بالرغم من صحة العكس أحياناً. وعندما تدفن الكبلات ضمن مسالك غير مملوءة عوضاً عن دفنها بشكل مباشر في الأرض تحدث إعاقة للتبدد الحراري وتتناقص معدلات تحمل التيار.

أغلفة الألمنيوم: في الوقت الحالي، تستخدم أغلفة الألمنيوم ذات البروفيل المصقول على نطاق واسع في الكبلات المضغوطة، وبشكل خاص كبلات الغاز المضغوط، وذلك بسبب قوتها الكافية للتصدي للضغط الداخلي المرتفع للغاز دون الحاجة للتدعيم. يتوفر كذلك غلاف الألمنيوم المموج غير الملتحم والمناسب بشكل خاص للاستخدام مع كبلات الملء بالزيت منخفضة الضغط. يسمح التصميم المموج من تخفيض سماكة الغلاف الأمر الذي يثمر عن وفر في التكاليف وأداء انحناء محسن. وقد قاد الربط مع الحمايات الحديثة إلى الاستخدام المتزايد للكبلات ذات غلاف الألمنيوم والمملوءة بالزيت.

ثوابت الكبلات تحت الأرضية

مقاومة العزل Insulation resistance: لا تتناسب مقاومة العزل مباشرةً مع السماكة القطرية للعازل، ويمكن حسابها من العلاقة:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \log_e \frac{R}{r}$$

حيث ρ المقاومة النوعية للمادة العازلة. وهذه العلاقة أكثر ملاءمةً عند التعبير عنها بواحدة الأوم Ω أو بواحدة MΩ/km :

$$R = 1.43\,\rho \log_{10} \frac{R}{r} \times 10^{-12} \qquad \text{M}\Omega/\text{km}$$

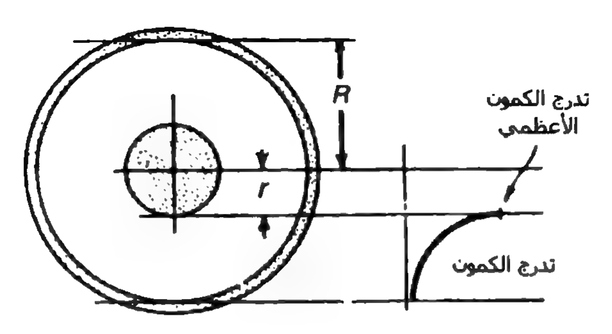
السعة: تعطى سعة الكبل أحادي القلب بالعلاقة:

$$C = \frac{0.024\,k}{\log_{10}\dfrac{R}{r}} \qquad \mu F/km$$

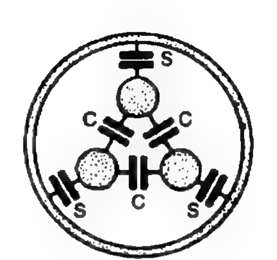
حيث k هي السماحية. عادةً تكون سماحية الورق المخصب العازل بحدود 3.5، وللبوليتين 2.3 ، وتتراوح للمطاط والــPVC من 5 وحتى 8.

تدرج الجهد: السؤال عن الجهد أو تدرج الكمون للكبلات المعزولة هو سؤال هام، وخاصة من أجل تصاميم الكبلات المملوءة بالزيت أو الغاز المضغوط. تستند غالبية تصاميم كبلات الجهد المفرط على اختيار تدرج جهد أعظمي مناسب يحترم خصائص العازل والجهود، وبشكل خاص الجهود النبضية، التي سيخضع لها الكبل. يوضح الشكل (9.3) الشكل العام لتدرج الجهد، حيث يقع التدرج الأعظمي عند سطح الناقل وتعطى قيمته بالعلاقة:

$$g_{max} = \frac{E}{r\log_e\dfrac{R}{r}} \qquad V/cm$$



الشكل (9.3) تدرج الكمون في الكبل أحادي القلب



الاختبار (1) : ناقل واحد إلى الغلافين الآخرين = 2C+S

الاختبار (2): ثلاثة نواقل مضمومة للأرضي = 3S

من هذه الـ C و S يمكن إيجاد
السعة بالنسبة للحيادي = $S + 3_C = \frac{9 \times (1) - (2)}{6}$

الشكل (9.4) السعة في الكبلات ثلاثية القلب

يشمل التصميم الاقتصادي للكبل استخدام تدرج الجهد الأعظمي أو جهد التصميم الذي يمكن استخدامه بدون خطر الانقطاع أو الانهيار الكهربائي. عندما تكون قيم g_{max} و E ثابتة، يمكن الحصول على قيمة R الدنيا من العلاقة:

$$\log_e \frac{R}{r} = 1$$

أي عندما R=2.718 r. وبالتالي عندما يطلب حساب القطر الأصغري الممكن للكبل، فإن القطر المحيط بالعازل يجب أن يكون 2.718 مرة من قطر الناقل، بحيث يكون نصف قطر الناقل محققاً للعلاقة التالية:

$$g_{max} = \frac{E}{r} \quad \text{V/cm}$$

من أجل جهد منظومة حتى 132 kV تقريباً، فإن ذلك يقارب تصميم كبل قلما يمكن عمله بسبب صغر قيمة r التي سنحصل عليها والتي تسمح باستخدام المقطع العرضي لناقل رنان. ومن أجلِ قيم جهود أنظمة حتى 275kV أو 400kV، فإن العلاقة R=2.718 r تستخدم مراراً وتكراراً في تصميم الكبل.

من أجل الكبلات المملوءة بالزيت وذات المقاطع النحاسية الصغيرة، يمكن الحصول على القيمة المطلوبة لـــ r عن طريق جعل قناة الزيت الداخلية بقطر أكبر من اللازم.

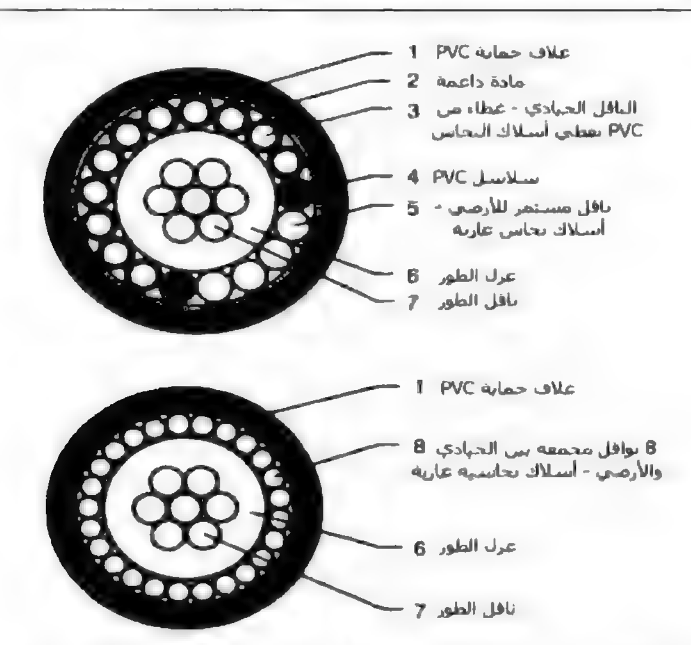
كبلات التوصيل

يوجد عدد من كبلات التوتر المنخفض المستخدمة في توزيع الأسلاك للعقارات المنزلية، التجارية، والصناعية. بالإضافة لذلك، يمكن إنجاز خدمات تغذية المساكن ومشاريع إنارة الشوارع بواسطة كبلات غير كبلات الأنواع المصمتة المعزولة بمواد PVC أو الورق، وهذه الكبلات مشروحة في الفقرات القادمة.

كبلات الخدمة: عادةً ما تكون كبلات الخدمة التي تنقل التغذية الكهربائية إلى المساكن والمباني الأخرى بحمولات صغيرة من النوع أحادي الطور، وترتبط بوصلات خدمة إلى طور وحيد، ويمتد الحيادي وكبلات توزيع التوتر المنخفض في الشوارع والأرصفة. بينما يمكن استخدام كبلات الخدمة ثلاثية الطور للحمولات الكبيرة. يمثل أحد أنواع كبلات الخدمة نسخة مصغرة عن الكبل Waveconal. ويعتبر ناقل جيد للتغذية أحادية الطور، فهو ذو ناقل طور دائري وحيد معزول بمادة XLPE وأسلاك الحيادي ذات الشكل الموجي المستقرة ضمن الحماية المطاطية الممتدة حوله. والجميع محمي بغلاف PVC.

للتغذيات ثلاثية الطور والحيادي، يشابه الكبل إلى حد كبير ذلك المبين في الشكل (9.1.g) فيما عدا كون نواقل الأطوار الثلاثة دائرية جميعها. هناك أنواع أخرى معزولة بمواد PVC، يستخدم أحدها عزل PVC لكبلات توزيع التغذية العامة. والنواقل المركزية فيه عبارة عن أسلاك نحاسية مطبقة بشكل محلزن، وبدون الحماية المطاطية الضرورية ضد التآكل لأسلاك الألمنيوم، تكون نواقل الطور عادةً من النحاس، وقد تكون أيضاً من الألمنيوم المصمت.

أحد هذه الأنواع هو الكبل CNE الذي لا تغطى فيه أسلاك الناقل المركزي والتي تخدم كحيادي وأرضي بشكل مستقل، وفي النوع الآخر المعروف باسم 'Split Concentric' النوع المركزي المشقوق، تغطى الأسلاك المستخدمة كناقل حيادي بشكل مستقل بطبقة رقيقة من PVC بينما تكون عبارة عن قضيب أسلاك الناقل الأرضي المستمر. يوضح الشكل (9.5) نوعي الكبلين هذين، وتغطي المواصفة BS 4553 النوع المركزي المشقوق أحادي الطور.



الشكل (9.5) نوعان من كبلات الخدمة المحورية. في الأعلى محوري مشقوق، في الأسفل مركب الحيادي مع الأرضي

تشابه كبلات الخدمة التي يشترك فيها الأرضي والحيادي للكبلات المشقوقة من ناحية التصميم، غير أن النواقل الخارجية جميعها عبارة عن قضيب نحاسي كما هو مبين في الشكل (9.5) السفلي. ولكلا النوعين غلاف أسود من PVC المبثوق وتتوفر بمقاطع تتراوح من $4\ mm^2$ إلى $50\ mm^2$. وللكبلات المركزية المشقوقة ناقل مركزي من النحاس أو الألمنيوم المصمت المعزول بواسطة PVC أحمر اللون والطبقة المركزية من القضيب والنواقل المعزولة تكون كما يشير لذلك الشكل.

الكبلات الناقلة النحاسية: الكبلات الناقلة الصغيرة والمناسبة لخدمات الإضاءة والطاقة للأبنية، هي عادةً عبارة عن نواقل نحاسية معزولة بمواد PVC من أجل استخدامات مواسير الأسلاك وتوصيلات الخطوط. يتم توفير غلاف من PVC فوق القلوب المعزولة للكبلات ثنائية القلب و cpc. تكون cpc عادةً عبارة عن

قضيب نحاسي وتتراوح المقاطع المناسبة للاستخدامات المترلية والتجارية من $1\ mm^2$ إلى $16\ mm^2$.

عندما طورت الكبلات المترية لأول مرة في بريطانية، كانت بمقاطع $1\ mm^2$، $1.5\ mm^2$، و $2.5\ mm^2$ نواقل نحاس مصمت لكل من الكبل المفرد والمتعدد القلوب. وقد أدت قساوة الكبل ثنائي القلب و cpc بالمقطع $2.5\ mm^2$ إلى توفير هذه المقاطع بالشكل المجدول أيضاً.

نتيجة لتقلب وأحياناً ارتفاع أسعار النحاس، فقد أجريت العديد من الاختبارات على مدى فترة من السنوات لبحث إمكانية استعمال الألمنيوم كمادة ناقلة. حتى اليوم، منعت مشاكل الإنهاء المؤدية لزيادة تسخين الملحقات هذه المادة من أن تكون ناقلاً مقنعاً لتوزيع الأسلاك المترلية.

الكبل المعزول معدنياً: يستخدم هذا النوع من الكبل على نطاق واسع لدارات الإضاءة والطاقة ولإنذارات الحريق والتغذيات الطارئة في أغلب أنواع المباني والمنشآت الصناعية. يتوفر مجال من الكبلات المعتمدة من BASEC في المواصفة BS 6507، ويتوفر المجال الكامل المعتمد من BASEEFA. وهذا الكبل لا يحترق ولا يساعد على الاحتراق، ولا يصدر الدخان أو الغازات السامة. وهو سيستمر في العمل حتى في حال وقوع حريق في جواره وهذا ما يحافظ على الخدمات الأساسية كإنذارات الحريق وإضاءة الطوارئ. تتكون الكبلات المعزولة معدنياً من نواقل نحاسية محتواة ضمن عازل من أكسيد المغنيزيوم المضغوط بشكل كثيف، وموجودة ضمن غلاف نحاسي يؤثر أيضاً كناقل دارة حماية ممتاز. لهذه الكبلات معدلات تيار أعلى من الأحجام المماثلة للكبلات ذات العزل العضوي، وبما أنها مبنية من مواد لا عضوية فهي لن تتلف مع التقادم. وهي متوفرة بمجال من مقاطع نواقل أحادية القلب من $6\ mm^2$ حتى $240\ mm^2$ وبمقاطع لنواقل مكونة من 2 ، 3 ، 4 قلوب من $1.5\ mm^2$ إلى $25\ mm^2$. وهناك أيضاً بعض المقاطع المتوفرة للكبلات المكونة من 7، 12، و 19 قلب. وهي متوفرة لمعدلي جهد 600 V و 1000 V.

وكخيار، يمكن أن يمتلك الغلاف غطاء خارجي كلي لتأمين الحماية في المحيط المؤدي لتآكل النحاس. يمكن أن يكون هذا الغطاء الخارجي منٍ مواد خالية من الهالوجين وبإصدار دخان منخفض جداً وخصائص منخفضة جداً لانتشار اللهب. وعند إنهاء الكبل، فإنه من الضروري زرع موانع تسرب تمنع امتصاص الرطوبة من قبل أكسيد المغنيزيوم العازل. يقوم المصنعون بتوفير مجال كامل من الأدوات وموانع التسرب والحشوات (الجلب). يعد هذا الكبل مناسب بشكل مثالي للاستخدام في منظومات TN-C كون الغلاف النحاسي يقدم اندماج ممتاز بين الناقل الحيادي والأرضي (PEN).

كبلات العزل المطاطي المرن: حيث تصادف درجات الحرارة المحيطية العالية، فإن كبل العزل المطاطي المرن والكبل المرن سيكون متوفراً لدارات الطاقة والإضاءة حتى 1000 V.

10

المحولات والمغيرات التفرعية

المحولات

تتكون محولة الطاقة عادةً من زوج من الملفات، الملف الأولي والملف الثانوي، يرتبطان عبر دارة أو قلب مغناطيسي. لدى تطبيق جهد متناوب على أحد هذين الملفين، وعادةً ما يكون الملف الأولي بالتعريف، سيمر تيار يحرض قوة محركة مغناطيسية m.m.f. ثم يتولد فيض متناوب في القلب يربط كلا الملفين عبر تحريض قوة محركة كهربائية e.m.f في كل منهما. تكون القوة المحركة الكهربائية في الملف الأولي خلفية، وإذا كانت المحولة مثالية، ستعاكس القوة المحركة الكهربائية جهد الملف الأولي المطبق إلى الحد الذي تمنع فيه مرور التيار. في الواقع، التيار المار هو تيار مغنطة المحولة. وفي الملف الثانوي، تمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرضة جهد الدارة المفتوحة. عند وصل الحمل إلى الملف الثانوي الذي يسمح بمرور تيار الثانوي، بالتالي، تتولد قوة محركة مغناطيسية مزيلة للتمغنط، وبالتالي يهدم التوازن بين جهد الأولي المطبق والقوة المحركة الكهربائية الخلفية. لإعادة ذلك التوازن، يجب سحب تيار أولي متزايد من التغذية لتأمين قوة محركة مغناطيسية مكافئة تماماً، وبهذا فإن التوازن يتحقق مرة أخرى عندما يؤمن تيار الأولي توازن في الأمبير واللفات مع تلك التابعة للثانوي. بسبب عدم وجود اختلاف بين الجهد المتحرض في لفة واحدة سواء أكانت جزءاً من الملف الأولي أو من الملف الثانوي، يجب أن الجهد الكلي المتحرض في كل من الملفين بواسطة الفيض المشترك مع عدد اللفات. وبالتالي سنحصل على العلاقة المعروفة جيداً:

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

وبالنظر للحاجة إلى التوازن في الأمبير وعدد اللفات فإن:

$$I_1N_1=I_2N_2$$

حيث يمثل E و I و N الجهود المتحرضة، التيارات، وعدد اللفات على التوالي في الملفات المعرفة بالدليل المناسب. إذاً، يتحول الجهد بالتناسب مع عدد اللفات للملف الخاص والتيارات تكون بتناسب عكسي.

العلاقة بين الجهد والفيض: في المحولات العملية، يمكن الملاحظة بأن الجهد المتحرض في كل لفة هو:

$$E/N=K\ \phi_m\ f$$

حيث K ثابت، ϕ_m القيمة العظمى للفيض الكلي، بالويبر المار بتلك اللفة و f تردد التغذية بالهرتز.

عندما يكون الجهد جيبياً، وهذا بالطبع ما يتم افتراضه دوماً، فإن K تعادل 4.44 وبالتالي يصبح التعبير:

$$E=44.4\ f\ N\,\phi$$

من أجل الحسابات التصميمية، يهتم المصمم أكثر بالفولت لكل لفة وبكثافة الفيض في القلب أكثر من الفيض الكلي، وبالتالي، يمكن إعادة كتابة هذا التعبير بواسطة هذه الكميات على النحو التالي:

$$E/N=44.4\ B_mA\ f\times10^{-6}$$

حيث:

E/N = الجهد لكل لفة، والذي يكون متساوياً لكلا الملفين

B_m = القيمة العظمى لكثافة الفيض في القلب (Tesla)

A = مساحة المقطع العرضي الصافية للقلب (mm^2)

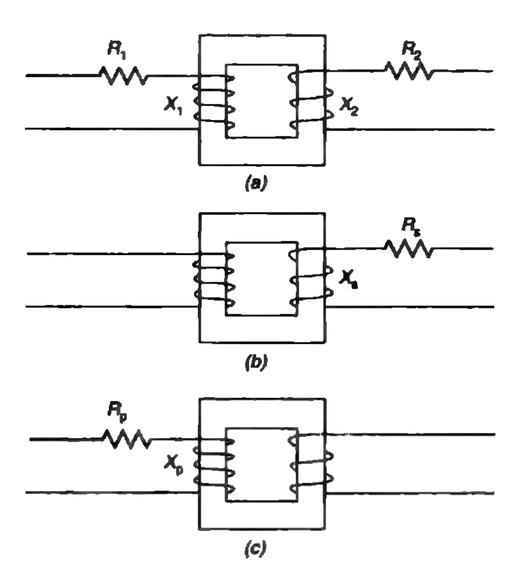
f = تردد التغذية (Hz)

مفاعلة التسريب: جرى التنويه لحقيقة مفادها أن النقل بين الملفين الأولي والثانوي غير تام. أولاً، لا يرتبط كامل الفيض المتحرض بواسطة ملفات الأولي مع ملفات الثانوي، وبالتالي يمكن أن يقال بأن المحولة تمتلك مفاعلة تسريب. لاحظ المصممون الأوائل للمحولات أن المفاعلة التسربية تمثل نقطة ضعف لمحولاتهم ويجب تصغيرها إلى الحد الأدنى قدر المستطاع. مع تنامي حجم وتعقيد محطات الطاقة الكهربائية ونظم النقل والتوزيع، أصبحت المفاعلة التسريبية – أو الممانعة، لأن المحولة عملياً تمتلك مقاومة وممانعة أيضاً، تعرف تدريجياً كعامل مساعد له أهميته في عملية تقليص تيارات الأعطال fault currents في الشبكات. الطريقة الاعتيادية للتعبير عن ممانعة المحولة هي كنسبة مئوية لهبوط الجهد في المحولة من أجل تيار الحمل الكامل وهي تعكس الطريقة التي يراها من خلالها مصممو النظام. على سبيل المثال، ممانعة بمقدار 10% تعني أن هبوط الجهد عند تيار الحمل الكامل يعادل 10% من جهد الدارة المفتوحة، أو بمعنى آخر، وبإهمال أية ممانعة أخرى للنظام، من أجل عشرة أضعاف تيار الحمل الكامل، فإن هبوط الجهد في المحولة سيعادل الجهد الكلي للنظام. يعبر عن ذلك بالرموز كما يلي:

$$V_z = \%Z = \frac{I_{FL}Z}{E} \times 100$$

حيث Z هي $\sqrt{(R^2 + X^2)}$، R وX تمثل مقاومة المحولة ومفاعلتها التسربية على التوالي، و I_{FL} و E تمثل تيار الحمل الكامل وجهد الدارة المفتوحة لملفات الأولي أو الثانوي. طبعاً، يمكن أن يعبر عن R و X بحد ذاتهما كنسب مئوية من هبوطات الجهد. تميل القيمة الطبيعية للنسبة المئوية للممانعة إلى التزايد كلما ازداد مجال عمل المحولة. القيم النموذجية للممانعة محولة طاقة من الحجم المتوسطة تكون بحدود 9% أو 10%. أحياناً، يتم تصميم بعض المحولات بممانعة أكبر من 22.5% بشكل متعمد.

الدارة المكافئة للمحولة: يمكن ببساطة اعتبار تأثير المحولة على نظام كهربائي أداةً تقوم بتحديد مرور التيار كما مر في الوصف أعلاه لممانعة المحولة، في الواقع، نفترض بأنها تملك الدارة المكافئة المبينة في الشكل (10.1.a). أي أنها تتكون من ممانعة تمتلك قيم مكونات مقاومة ومفاعلة تملك تأثير الحد من جهد الخرج بما يتناسب مع الحمل. يمكن النظر إلى هذه المركبات على أنها مرتبطة مع الملفات المستقلة كما هو مبين في الشكل. في الحقيقة، يمكن قياس مقاومات الملفات المستقلة R_1 و R_2، لكن لا يمكن أن تتواجد X_1 و X_2 بشكل مستقل عن بعضهما البعض ولهذا فقيمها ليست قيم حقيقية كما هو الحال لقيم المقاومة، على الرغم من أن كل ملف من هذه الملفات المستقلة سيمتلك مفاعلة تحريضية خاصة به.



الشكل (10.1) طرق مختلفة لتمثيل دارات المحولة

يمكن تبسيط الدارة المكافئة أكثر عبر تجميع كافة المقاومات والمفاعلات مع بعضها البعض. يمكن افتراض أن القيم المجمعة كلها ستكون في الملف الثانوي كما هو

موضح في الشكل (10.1.b)، أو جميعها في الملف الأولي كما في الشكل (10.1.c). ويمكن الملاحظة بأن القيم المجمعة هي:

$$R_p = R_1 + R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$X_p = X_1 + X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

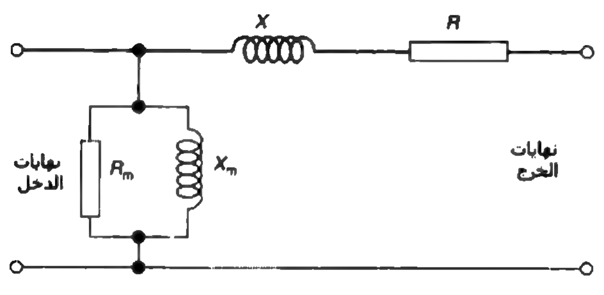
بالنسبة للملف الأولي، و

$$R_s = R_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 + R_2$$

$$X_s = X_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 + X_2$$

بالنسبة للملف الثانوي.

كما أشير إليه أعلاه، سيمرر ملف المحولة الأولي بعض التيار ببساطة عن طريق الربط إلى التغذية حتى عندما يكون ملفه الثانوي عبارة عن دارة مفتوحة، وهذا ما يمثل التيار الممغنط. يمكن تعريف دارة مكافئة أكثر دقةً عن طريق تضمين الفرع الممغنط كما هو مبين في الشكل (10.2).



الشكل (10.2) الدارة المكافئة للمحولة بما فيها فرع مغنطيسي (ممغنط)

بما أن التيار المغنط يمر عند عامل استطاعة منخفض، فإن الفرع المغنط سيكون فرعاً تفاعلياً (ذو أثر تفاعلي) بشكل كبير.

تنظيم المحولة: تطبق نسبة جهد المحولة المعرفة أعلاه عند اللاحمل، بالنظر إلى أية دارة من الدارات المكافئة المبينة، نلاحظ بأنه لدى مرور تيار الحمل، فإن الجهد على جانبي الخرج سيهبط، وهذا ما يعرف بالتنظيم. يعطى التنظيم المئوي التقريبي (approximate percentage regulation)، لتيار حمل يساوي (a) ضعف من تيار الحمل الكامل وعامل استطاعة للخرج يساوي $\cos\phi_2$، بالعلاقة التالية:

$$\text{percentage regulation } = a(V_R \cos\phi_2 + V_X \sin\phi_2) + \frac{a^2}{200}(V_X \cos\phi_2 - V_R \sin\phi_2)^2$$

حيث:

V_R = النسبة المئوية لجهد المقاومة

V_X = النسبة المئوية لجهد المفاعلة

هذه العلاقة دقيقة بما فيه الكفاية لمعظم المحولات العملية، على أي حال، لمحولة تصل فيها قيم المفاعلة إلى ما يقرب من 4%، يمكننا تبسيط العلاقة السابقة عن طريق حذف الحد a^2. لكن من أجل قيم الممانعة المرتفعة جداً، بحدود 20% وأكثر، يصبح من الضروري، أحياناً، إضافة حد آخر يتعلق بـ a^4.

ضياعات المحولة: تكون ضياعات المحولة صغيرة جداً بالمقارنة مع كامل الطاقة، وبالتالي يتم تعريف مردود المحولة على أنه نسبة الخرج إلى الدخل، ويمكن كتابة ذلك على النحو التالي:

$$\frac{\text{الدخل} - \text{الضياعات}}{\text{الدخل}}$$

او

$$\frac{\text{الخرج}}{\text{الضياعات} + \text{الخرج}}$$

هذا المردود قيمة مرتفعة جداً.

يقاس كل من الدخل والخرج بواحدة VA أو kVA أو MVA ، أما الضياعات فتقاس بواحدة W أو kW.

بالنسبة للمحولات الكبيرة، تزيد قيمة المردود عن 99% وحتى بالنسبة للمحولات الأصغر فإن قيم المردود الشائعة تصل حتى 98% أو أكثر.

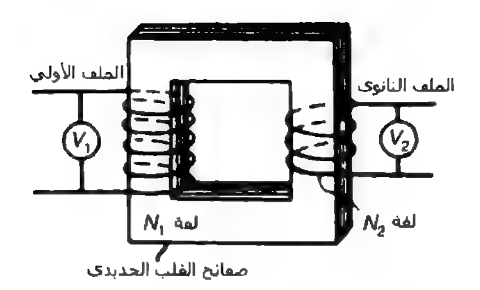
بشكل أساسي، هناك نوعان لضياعات المحولة، الضياعات الحديدية والضياعات النحاسية. تنتج الضياعات الحديدية عن مغنطة القلب الفولاذي وتتألف بدورها من مركبتين، تنتج المركبة الأولى عن اتخاذ القلب الفولاذي عبر دورات مغنطته المتعاقبة، في البداية قيمة عظمى في الاتجاه الأول ثم العودة إلى الصفر ومن ثم قيمة عظمى في الاتجاه المعاكس. تنتج المركبة الثانية عن مرور التيارات الإعصارية في القلب الفولاذي لأن الفولاذ بحد ذاته يمثل مساراً مغلقاً للتيار مرتبط مع الفيض المتناوب. عند بناء القلب من صفائح رقيقة، انظر الشكل (10.3)، فإن المقطع العرضي للقلب سيصبح صغيراً قدر المستطاع وبالتالي ستزداد مقاومته الكهربائية وهذا ما يؤدي إلى تخفيض مركبة الضياع الناتج عن التيار الإعصاري إلى الحد الأدنى. تبرز الضياعات الحديدية عند تزويد المحولة بالطاقة حتى عندما تكون الدارة مفتوحة. وتتغير هذه المركبات بتغير الجهد المطبق، ولكن بما أن المحولة تصمم لتعمل عند جهد ثابت، وضمن حدود بسيطة عادةً ±10%، يمكن عادةً اعتبار الضياعات الحديدية ثابتة حين يتم تزويد المحولة بالطاقة.

يشار أحياناً للضياعات النحاسية بضياعات الحمل، وهي ناتجة عن تدفق تيار الحمل عبر الملفات. ولضياعات الحمل مركبتين: الأولى مركبة المقاومة الصرفة، وهي I^2R في النحاس، والمركبة الثانية هي مركبة التيار الإعصاري المار عبر الملفات النحاسية بزاوية قائمة بالنسبة للتيار الرئيسي المار. يمكن أن تزداد مقاومة مرور التيار في هذا المستوي عن طريق تقسيم نواقل الملف إلى عدد من النواقل الجزئية القياسية مما يؤدي إلى تخفيض ضياع التيار الإعصاري للملف.

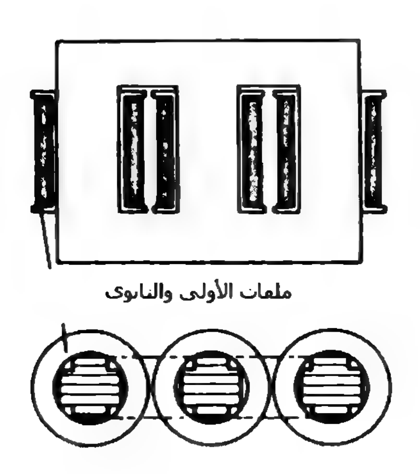
على الرغم من الصغر المتعلق بكامل إنتاجية المحولة، تخلق الضياعات تأثيراً حرارياً معتبراً في قلب المحولة وملفاتها، ولهذا السبب، يجب التخلص منه عبر تأمين ترتيبات خاصة للتبريد. معظم محولات الطاقة، باستثناء بعض وحدات التوزيع الصغيرة، تكون ذات قلب وملفات مغطسة ضمن زيت معدني يوفر العزل الكهربائي، ويتم تحريكه للتخلص من الحرارة. يمكن أن يتم جريان الزيت بشكل طبيعي عن طريق الرأس الحراري (Thermal head) الناتج عن الضياعات بحد ذاتها، أو بشكل قسري بواسطة مضخة أو مضخات. وفي العديد من المحولات يتواجد نظام التبريد المزدوج الطبيعي والقسري. حيث يعتبر الأول كافياً للتبريد عند معدل نصف الطاقة الإنتاجية بينما النظام الثاني للتبريد عند الحمل الكامل.

يبرد الزيت عادةً من خلال تمريره إلى مبادلات حرارية أو مشعات، حيث يمثل الهواء المحيط وسيط التبريد الثانوي يمكن تحريك هذا الهواء عن طريق الرأس الحراري أو عن طريق المراوح.

بنية المحولة: يمكن تمثيل محولة بسيطة أحادية الطور تخطيطياً كما هو مبين في الشكل (10.3) بقلبها الحديدي المرتبط مع ملفات الأولي والثانوي. في التطبيقات العملية، تكون معظم محولات الطاقة ثلاثية الطور، والشكل (10.4) يوضح بنيتها. يمتلك القلب ثلاثة أطراف أو أرجل، وكل منها يلف بملف أولي أو ثانوي. تبنى الأطراف من رقائق رفيعة من الفولاذ المسحوب على البارد (راجع الفصل الثاني) وتكون ذات عرض متغير أو متدرج، وبالتالي فإن المقطع العرضي للقلب سيكون دائري تقريباً ليمكننا من ملاءمة الملفات الأسطوانية مع القلب بحد أدنى من الفراغات الضائعة. تقوم القارنات العلوية والسفلية بربط الأطراف الثلاثة مع بعضها البعض لإكمال مسار الفيض المغناطيسي. بما أنه لا يمكن تحصيل الفيض لمنظومة ثلاثية الطور في أي لحظة زمنية، تنتفي الحاجة لمسار الفيض الراجع. لذلك تحتاج المحولات ثلاثية الطور عادةً إلى قلب ثلاثي الأطراف فقط.



الشكل (10.3) محولة أحادية الطور

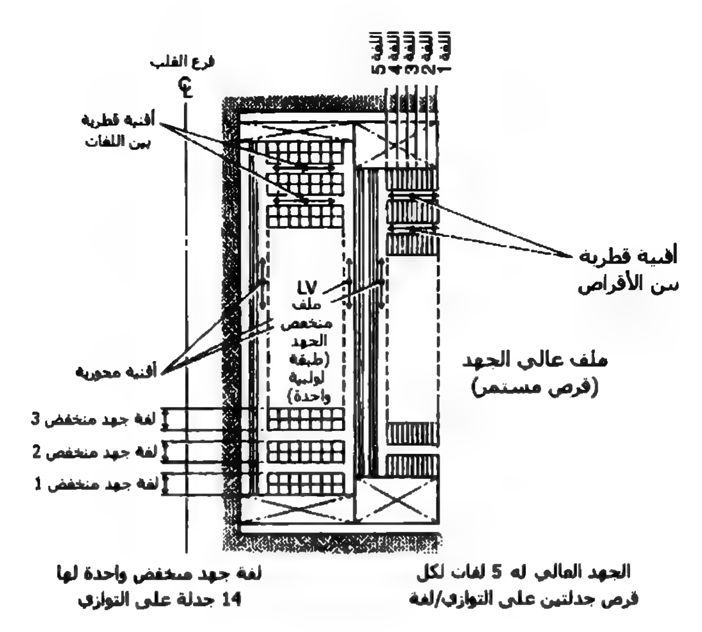


الشكل (10.4) محولة ثلاثية الطور نوع القلب

تصنع الملفات من النحاس عادةً. من أجل المحولات الصغيرة، هذه الملفات قد تكون ذات مقطع عرضي مطلي بعازل المينا. من أجل المحولات الكبيرة، يتخذ المقطع العرض للناقل النحاسي شكل المستطيل. يقسم الناقل الذي تتشكل منه اللفة إلى عدد من الأسلاك المستقلة التي يمكن عزلها عن بعضها البعض إما عن طريق طلاء المينا أو عن طريق غطاء ورقي وذلك بغية تخفيض ضياع التيار الإعصاري للملف كما تم التطرق لذلك آنفاً.

مجموعة الأسلاك الكهربائية التي تصنع منها اللفة لها عزل طلاء بالمينا فقط، وهي عادةً تنحصر مع بعضها البعض بواسطة أغطية ورقية خارجية تؤمن أيضاً عزل اللفات المجاورة.

تتشكل الملفات حول الألواح الورقية أو الأسطوانية وبالتالي يمكن تجميعها مع القلب، أو ملف عالي الجهد على ملف منخفض الجهد بعد عملية اللف. من أجل جميع أنواع المحولات، ما عدا الصغيرة منها والتي قد تكون مبردة بالهواء، يتدفق زيت التبريد حول القلب وعبر الملفات من خلال أقنية مشكلة بواسطة أشرطة من الورق المقوى. وهي تمتد محورياً بين أسطوانة من الورق المقوى ولفات الملف، وكذلك قطرياً بين اللفات المستقلة أو مجموعة من اللفات. يبين الشكل (10.5) مقطع في قلب وملفات محولة نموذجية متوسطة الحجم.

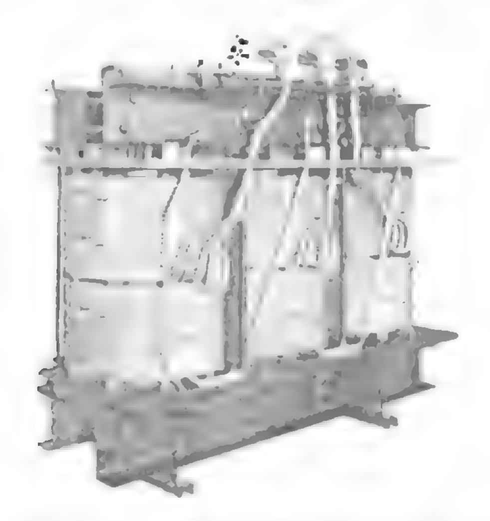


الشكل (10.5) مقطع في الملفات عالية ومنخفضة الجهد يظهر أقنية التبريد المحورية والقطرية

في حالة قصر دارات الأنظمة الكهربائية الخارجية، تبرز الحاجة للمحولات لمواجهة التيارات الكبيرة لدارة القصر. حيث يؤدي ذلك لتوليد قوى ميكانيكية محورية وقطرية كبيرة بين الملفات، يتم التغلب على القوى القطرية بسهولة أكبر. يميل اللف الداخلي للحشر إلى الداخل أكثر بواسطة اللف الخارجي، بينما يميل اللف الخارجي للاندفاع نحو الخارج. تنتقل قوة الحشر هذه إلى القلب لتقاوم قوة الاندفاع نحو الخارج عن طريق إجهادات شد النواقل النحاسية. أما القوى المحورية فتعمل على حشر لفات الملف مع بعضها البعض، غير أنه تبرز مكونات محورية أخرى بحيث تؤدي، عند عدم وجود ضبط أولي أو موازنة للملفات، لزيادة عدم الانتظام أو اللا توازن.

لهذا السبب من الضروري ترسيخ الملفات بشكل آمن جداً في مواقعها. وذلك عبر إطارات القلب التي تركب أعلى وأسفل الأطراف، وتقوم بإنجاز مهام توحيد رقائق القلب مع بعضها البعض وشد الملفات بإحكام لضمان عدم حدوث أية حركة محورية، مما يؤدي لنقل القوى المحورية إلى أطراف القلب. يتم وضع قلب وملفات المحولة المملوءة بالزيت في حاوية مصنوعة من صفائح فولاذية لاستيعاب الزيت. غالباً ما يتم الربط إلى ملف جهد عالي بواسطة جلب انزلاق هواء/زيت تركب على غطاء الحاوية، على الرغم من ازدياد انتشار أسلوب الربط إلى مجموعة المفاتيح الكهربائية المعزولة غازياً (GIS). يتم إنجاز ربط ملف. جهد منخفض عادةً عبر صندوق أو صناديق كبل مركبة على جانب الحاوية، ويمكن أن يكون للحاوية مشعات تبريد مركبة على الجوانب المشغولة بصناديق الكبل أو يمكن بناء المشعات ضمن منصة تبريد مستقلة حرة الحركة ترتبط مع الحاوية الرئيسية عبر أنابيب عمل ذهاب وإياب.

يبين الشكل (10.6) قلب وملفات محولة ملء بالزيت صغيرة جداً كاملة، والشكل (10.7) محولة ثلاثية الطور كبيرة ذات جلب توتر عالي وتوتر منخفض مع منصة تبريد مستقلة.



الشكل (10.6) ملفات ثلاثية الطور 50Hz, 13,8/3.3 KV, 1500 KVA



الشكل (10.7) محولة ثلاثية الطور 50Hz, 132/33 KV, 90 MVA مع منصة تبريد مستقلة

توصيلات المحولة: في الوصف السابق، تمت الإشارة لحقيقة كون معظم محولات الطاقة هي عبارة عن محولات ثلاثية الطور. حيث يمكن توصيل الملفات ثلاثية الطور إما بالشكل النجمي أو المثلثي. ويعتمد التوصيل المختار على الاعتبارات القادمة.

في المملكة المتحدة، تشترط معايير التغذية الكهربائية أن يتم وصل جميع الأنظمة الكهربائية مع الأرضي. من المستحسن في النظام ثلاثي الطور وصل الحيادي إلى الأرضي، وأبسط الطرق لإجراء ذلك تكمن في تأمين الحيادي ضمن محولة التغذية الكهربائية الواردة. لهذا السبب، توصل عادةً الملفات الثانوية للمحولة بالشكل النجمي. (أحياناً، إذا تمت تغذية النظام من مولد تيار متناوب مباشرةً، سيتم تأريض حيادي المولد).

من المرغوب فيه بشكل كبير، في النظام ثلاثي الطور أن تكون التغذية الموجية قريبة قدر الإمكان من الشكل الجيبـــي، مما يعني وجوب امتلاكها محتوى من التوافقيات الدنيا المحتملة، لأن وجود التوافقيات يقود لزيادة الضياعات الشاردة، ويمكنه كذلك أن يسبب سوء التشغيل لبعض المعدات.

تظهر التوافقيات في التغذية نتيجة لأسباب متنوعة، لكن أحد أكثر هذه الأسباب شيوعاً هو عدم خطية المميزات المغناطيسية للفولاذ الكهربائي المتجلي على سبيل المثال في قلوب المحولة. تعتبر التوافقية الثالثة واحدة من أكثر التوافقيات هيمنة، والطريقة الأكثر في تخفيف مشاركة هذه التوافقية في موجة تيار خرج المحولة تكمن في وصل أحد ملفات المحولة بالشكل المثلثي. تكون جميع جهود التوافقية الثالثة لنظام ثلاثي الطور موصول بالشكل المثلثي متفقة بالطور مع بعضها البعض، وبالتالي فهي تؤثر بفعالية في دارة القصر حول التوصيلة المثلثية. فإذا تم قصر جهد التوافقية الثالثة الناتجة في المحولة بهذه الطريقة، فإن الخرج الموجي لن يظهر ولهذا السبب لن تقود إلى تيار خرج بتوافقية ثالثة الذي يعتبر غاية هذا الإجراء.

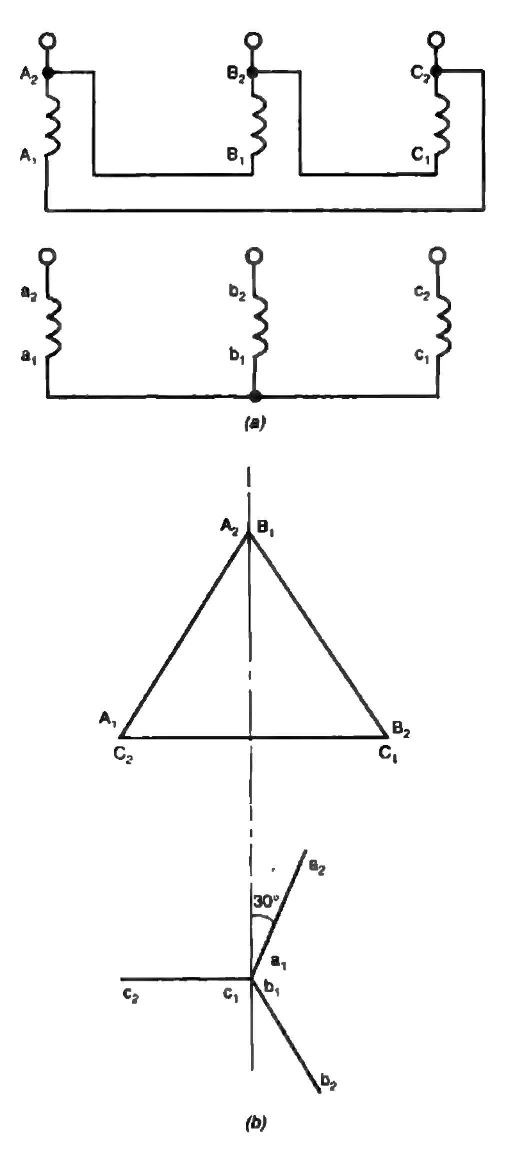
يمكن بالتالي لمحولة ذات ملفين أن تفي بمتطلبات تأمين الأرضي للنظام الثانوي وحذف التوافقية الثالثة في الخرج إذا تم وصل الثانوي بالشكل النجمي مع وصل

الأولي بالشكل المثلثي. وسيكون نظام تغذية الملف الأولي مؤرضاً عادةً عند حيادي محولة التغذية العائدة له.

انزياح الطور في المحولات: يوضح الشكل (10.8.a) توصيلات محولة نجمية/مثلثية كما تم وصفها سابقاً، ويوضح الشكل (10.8.b) المخطط الطوري الموافق. باعتبار الجانب عالي الجهد للمحولة، يمكن تمثيل ملف الطور A بشعاع الطور A1,A2. يجب أن يكون الجهد المتحرض في الملف منخفض الجهد متفقاً بالطور معه وأن يكون بنفس الاتجاه، لأنه كما تم التعرف في السابق، فإن أي لفة معينة من الملف لا تتصرف بشكل مختلف سواء كانت تنتمي للملف عالي الجهد أو منخفض الجهد. بإتباع الاصطلاح بوصل نهايات الملف ذات الرقم الأعلى إلى نهايات الخط، سيتم وصل طرف الملف عالي الجهد A2 مع الطرف B1 وسيطلق عليه اسم الطرف A، كما سيتم وصل B2 مع C1 وسيسمى الطرف B وسيتم وصل C2 مع A1 ليصبح الطرف C. نهايات الخط منخفض الجهد هي c2, b2, a2 أما النقاط c1, b1, a1 فهي الحيادي منخفض الجهد. يمكن الملاحظة بأن المحولة قامت بتوليد انحراف بالطور أو إزاحة طورية بين الملفات عالية الجهد ومنخفضة الجهد، وأنه، إذا تم تمثيل الحيادي عالي الجهد في المخطط بالنقطة N والحيادي منخفض الجهد بالنقطة n، عندما يكون الشعاع الممثل للطور A عالي الجهد عند الساعة 12 بالنسبة للحيادي، فإن الطور a منخفض الجهد سيتحرك متقدماً باتجاه الساعة 1. وبإجراء بعض العمليات الهندسية البسيطة يمكن استنتاج أن مقدار زاوية انحراف الطور هي 30^{o}.

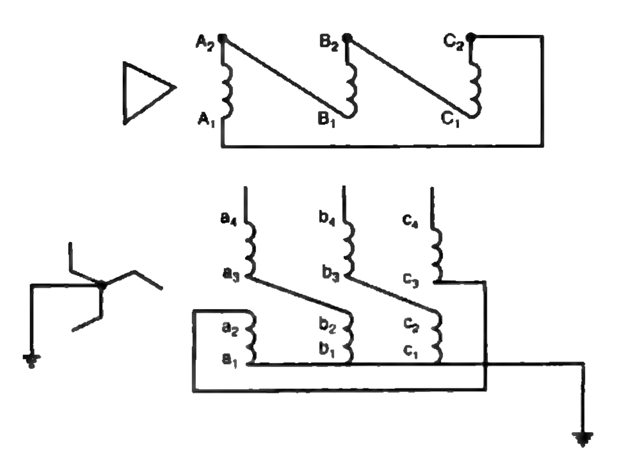
يتم وصف المحولة بالرمز Dyn1. يشير الاصطلاح بالأحرف الكبيرة D, Y, N للملف عالي الجهد، بينما تشير الأحرف الصغيرة d, y, n للملف منخفض الجهد. وتشير الأرقام النهائية لانحراف الطور كعدد مضاريب الزاوية 30^{o}. تفسير الرموز Dyn1 على الشكل التالي:

D	توصيل مثلثي للملفات الأولي
y	توصيل نجمي للملفات الثانوي
n1	انحراف طور بمقدار $30°$ $(1\times30°)$



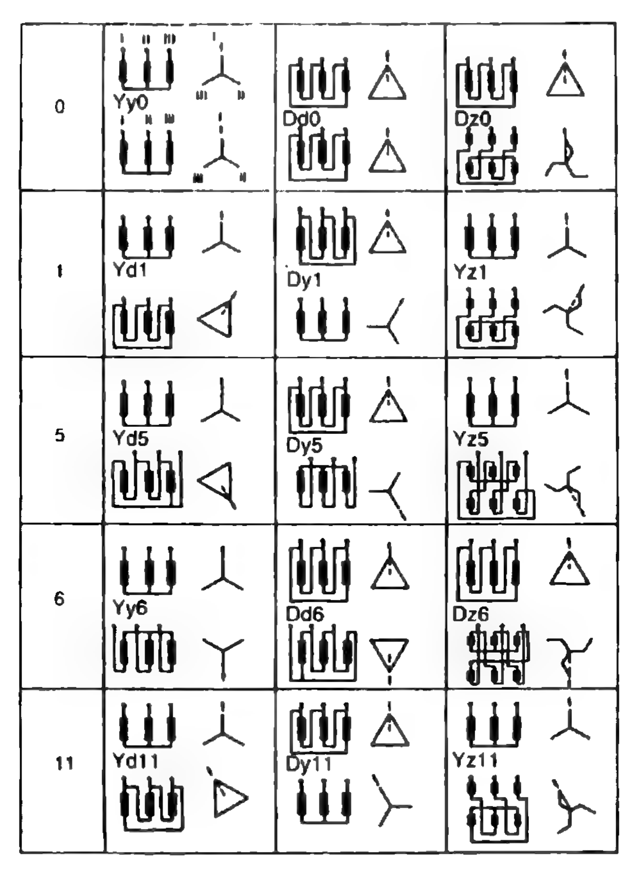
الشكل (10.8) توصيلات الملفات، **مخطط طوري وقطبي**

بالرغم من أنه من المفضل أن يكون لجميع المحولات ملف واحد موصول بالشكل المثلثي، إلا أن ذلك غير واقعي في بعض الأحيان وبالتالي يتم وصل الملفين (الأولي والثانوي) توصلاً نجمياً. مثل هذه الحالة يمكن أن تحصل إذا برزت أهمية لعدم وجود انزياح في الطور عبر المحولة. يمكن الحصول على إزاحة طورية معدومة بينما لا يزال هناك ملف واحد موصول بالشكل المثلثي عن طريق استخدام التوصيلة المثلثي/النجمي المتداخلة المبينة في الشكل (10.9). يمكن تحقيق نظام التوصيل النجمي المتداخل (يدعى في بعض الأحيان بالمتعرج zigzag ويختصر بالحرف Z أو z) عن طريق التقسيم الداخلي لأحد الملفين ومن ثم توصيل هذين النصفين كما هو مبين في الشكل (10.9.a). يكون لمثل هذه المحولة عملياً عدد كبير من الملفات يفوق المحولة ذات التوصيل المثلثي/النجمي أو النجمي/المثلثي البسيط، ولهذا السبب تكون هذه المحولات ذات تكلفة إنتاج أعلى.

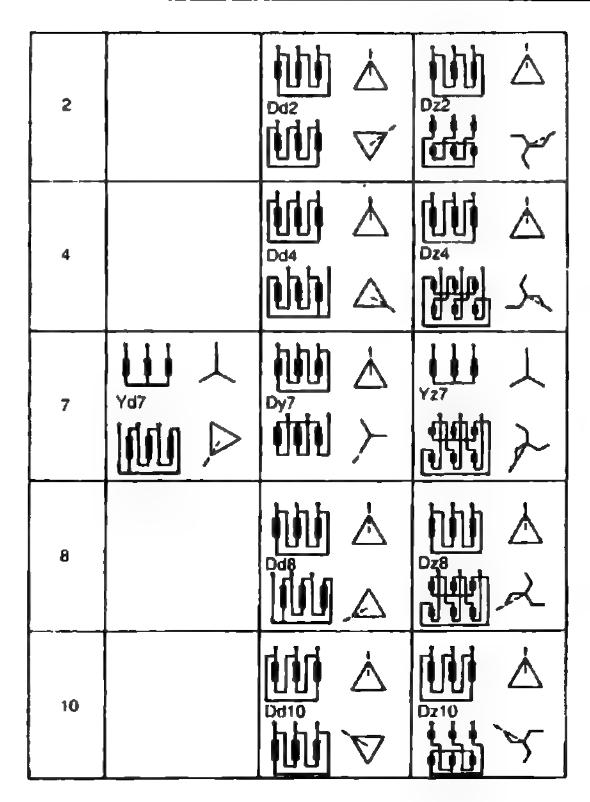


الشكل (10.9) محولة بملف ثانوي مثلثي ومحولة بنظام نجمي يتداخل فيه الأرضي مع الحيادي

يمثل الشكل (10.10) جدول لمعظم أنظمة التوصيلات الشائعة المتوفرة للمحولات ثلاثية الطور والمخططات الطورية الموافقة لها.



الشكل (10.10) وصلات المحولات ثلاثية الطور



الشكل (10.10) تابع وصلات المحولات ثلاثية الطور

التشغيل على التفرع: يمكن أن تتفرع المحولات بطريقتين. يمكن ترتيب محولتين أو أكثر لتغذية لوحة مفاتيح بطرق مختلفة بشكل كلي من مصدر تغذية مشترك. في هذه الحالة فإن المتطلبات الأكثر أهمية هي التأكد من اتفاق مصدري التغذية المتفرعين بالطور بالنسبة لبعضهما البعض. في مرحلة التصميم يمكن تنفيذ هذا الاختبار عن طريق اختبار إزاحات الطور الناتجة نظرياً عن كل محولة من نقطة مرجعية مشتركة، ومع ذلك من المهم دائماً إثبات أي حسابات نظرية بضبط الطور على لوحة المفاتيح قبل إغلاق قواطع دارة التغذية الواردة للعمل على التفرع للمرة الأولى.

عندما يكون للمحولات المراد تفريعها ملفاتها الأولية الموصولة لقضيب ناقل مشترك، فإنه من المرغوب مطابقة مميزاتها الكهربائية مباشرةً قدر المستطاع لضمان تشارك مقبول للحمل. وفي هذا السياق فإن "التطابق" يعني:

- امتلاك نفس الإزاحة الطورية
- امتلاك نفس النسبة لمواقع نقاط التفرع جميعها ونفس مجال التفريع
- امتلاك نفس الممانعة في كل المواضع

وطبعاً بقي من المهم إجراء فحوصات ضبط الطور عند قواطع دارة الدخول قبل وصل المحولات على التفرع للمرة الأولى بغية التأكد من صحة جميع كبلات التوصيل.

التغيير التفرعي في المحولات

تقوم جميع المحولات بشكل تقريبي بدمج بعض الوسائط لضبط نسب جهودها عن طريق إضافة أو حذف لفات تفريع. يمكن الوصول لضبط الحمل، كما هو الحال في العديد من المحولات الكبيرة، عن طريق مفتاح فصل الدارة أو عن طريق اختيار مواضع ربط لولبية والتي يمكن أن تتغير في المحولات المعزولة كلياً فقط. يعتمد اختيار درجة تعقيد نظام المفرع على التردد المطلوب لتغيير المفرعات وعلى حجم وأهمية المحولة.

من بين العديد من التعاريف المدرجة في BS EN 60076 الجزء الأول "محولات الطاقة" هناك تعريف التفريع الأساسي وهو التفريع الذي ترتبط به الكميات المقدرة، وبشكل خاص، نسبة الجهد المقدرة، وهذا ما كان معروفاً بالتفريع العادي (Normal Tapping)، وما يزال هذا التعبير مستخدماً من حين لآخر. ويجب اجتنابه لأنه وبسهولة يمكن أن يؤدي إلى التشويش. يجب الملاحظة كذلك أن معظم مفرعات المحولات هي عبارة عن مفرعات الطاقة الكاملة، أي أن قدرات الطاقة للتفريع تعادل الطاقة المقدرة، وبالتالي، من أجل التفريعات الموجبة يجب أن يتم تخفيض معدل التيار لملف التفريع، ومن أجل التفريعات السالبة يزداد معدل تيار ملف التفريع. وهذا يعني عادةً أنه من أجل التفريعات السالبة، تزداد الضياعات لأن الضياعات تتناسب مع مربع التيار. على الرغم من أن الحالة ليست كذلك دائماً.

استخدامات المغيرات التفرعية: قبل التطرق لعمل وبنية المغيرات التفرعية، من الضروري في البداية التعرف على أهداف وطريقة استخدامها. يحتاج مستخدموا المحولات لهذه المغيرات لعدة أسباب:

- لتعويض التبدلات الطارئة على جهد التغذية الكلي وعلى محولات النظام الأخرى.
- لتعويض التنظيم ضمن المحولة، والمحافظة على ثبات جهد الخرج.
- على محولات المولدات والنواقل المتداخلة المساعدة في التحكم بتدفق VAr النظام.
- للسماح بتعويض المعاملات غير المعروفة بدقة أثناء تخطيط النظام الكهربائي.
- للسماح بالتعديلات المستقبلية لشروط النظام.

يمثل كل ما سبق الأسباب الموضوعية لتوفير المغيرات التفرعية، وفي الحقيقة استخدامها شائع جداً بحيث أنه من غير المحتمل لأغلب المستخدمين اعتبار فيما إذا كان يمكنهم الاستغناء عنها أم لا.

على كل حال، تكون المحولات بدون المغيرات التفرعية أكثر بساطة، أرخص، وأكثر وثوقية. بينما يزيد تواجدها من كلفة وتعقيد المحولة ويخفض من وثوقيتها.

مغيرات التفرع أثناء الحمل: أحد المتطلبات الأساسية لأي نظام كهربائي يكمن في وجوب توفير الجهد اللازم للمستخدم قريباً من الحدود المعرفة له بصرف النظر عن حمل النظام. الأمر الذي يهم المستهلكين المنـــزليين كما يهم المستخدمين الصناعيين والتجاريين. في العديد من الأنظمة الصناعية وبالرغم من ضرورة كون الجهد مرتفع بالقدر الكافي الذي يضمن إقلاع مقنع للمحركات الكبيرة المقادة، لكنه يجب ألا يكون عالياً جداً عندما لا يكون النظام محملاً الأمر الذي يمكن أن يتسبب بالضرر للمعدات الإلكترونية الحساسة على سبيل المثال. لن تعمل بعض العمليات الصناعية بشكل صحيح إذا لم يكن جهد التغذية مرتفعاً بما فيه الكفاية، ويمكن أن يكون البعض منها محمياً بريليات جهد منخفض تقوم بإيقاف العملية عند انخفاض الجهد بشكل كبير. يحتاج معظم المستهلكين المترليين لجهود التغذية العالية بشكل كاف طوال اليوم نهاراً وليلاً لضمان عمل مقنع لكل من مجموعات التلفزيون، والحواسيب الشخصية، والغسالات الآلية وما شابه، ولا يجب أن يكون الجهد عالياً

جداً بحيث يؤدي إلى تقصير عمر فتائل مصابيح الإضاءة التي تكون في أغلب الأحيان المكونات الأولى التي تنهار بفعل جهد التغذية الزائد.

وذلك يعني في المحصلة وجوب اللجوء إلى طرق تؤمن التحكم بجهد شبكات النقل والتوزيع. لذلك وبسبب كلفتها المنخفضة نسبياً، الوثوقية والسهولة في استعمالها، أصبحت عمليات تغيير جهد الحمل في المحولات من الوسائط المقبولة لإجراء ذلك. فعبر هذه الوسائط يمكن التحكم بنسب عدد لفات المحولة وتغييرها. تتوضع نقاط التفريع هذه بشكل دائم بمواقع قريبة من ملف الجهد المرتفع للاستحواذ على المزايا الإيجابية للتيار المنخفض.

طُور مبدأ تغيير جهد الحمل في نهاية العشرينيات من القرن الماضي، واحتاج لآلية تفي بالشرطين التاليين:

- عدم انقطاع تيار الحمل أثناء عملية التحويل
- إتمام عملية التحويل دون قصر مقطع التحويل للملف.

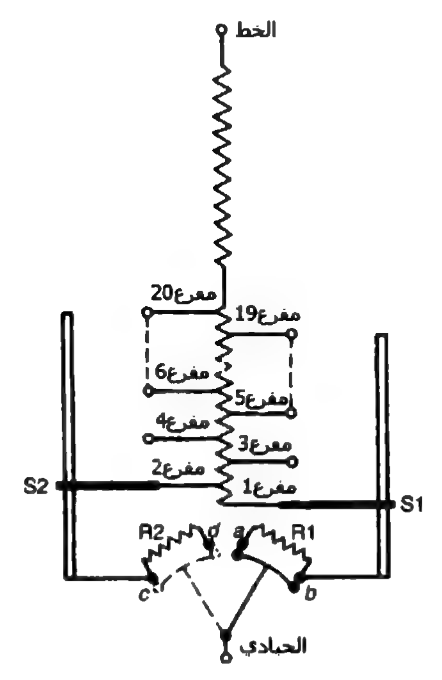
لجأت المغيرات البدائية لاستخدام المفاعلات التحريضية لتحقيق ذلك، لكن تم استبدالها في المغيرات الحديثة بمقاومات انتقال بإمكانيات جيدة عديدة. في الواقع كان ظهور أول مغير يعتمد على المقاومات في عام 1929، ولكن لم يتم تبنيه في بريطانيا عموماً حتى الخمسينيات من القرن الماضي، وفي الولايات المتحدة جرى التحول إلى المقاومات في الثمانينيات.

تكون المغير التفرعي التقليدي من كتلتين رئيسيتين، مفتاح اختيار المحول المسؤول عن اختيار مغير الفرع على ملفات المحولة دون التأثير على التيار، ومفتاح التحويل الذي يقوم بالتحويل الفعلي للحمل.

كانت القيادة الميكانيكية للمغيرات البدائية لكلا النوعين بالمقاومة أو بالمفاعلة قيادة مباشرة أو تعتمد على الطاقة المختزنة كتلك المختزنة في الدولاب المعدل (الحدافة) أو في النوابض. لكن هذا النوع من القيادة ارتبط في أغلب الأحيان بنظام مسننات معقد وأعمدة نقل حركة، وكان يجب أخذ خطر الانهيار الحراري بعين الاعتبار.

بدخول أنواع مغيرات المقاومة عالية السرعة، تم إلغاء معظم تلك التصاميم القديمة. حيث تم تحسين وثوقية التشغيل كثيراً، بشكل كبير عن طريق تطبيق بناء قيادة الطاقة المختزنة ضمن ارتباط متين مع آلية التبديل الفعلية، وهذا ما قاد للتخلص من العديد من نقاط ضعف التصاميم البدائية. أدى دخول أطراف قدح القوس من خلائط النحاس والتنغستين لإدخال تحسين جزئي على حياة التماسات، كما غير فلسفة التبديل بشكل كلي. فقد تم الإقرار بأن حياة التماس الطويلة مرتبطة بزمن القدح الصغير، والقطع عند أول تيار صفري هي القاعدة العامة الحالية.

يبين الشكل (10.11) نموذج تخطيطي لتتابع عملية التبديل الكهربائي لمغير تفرعي خطي. وقد تم أخذ طور وحيد فقط بغية التبسيط.



الشكل (10.11) تتابع عملية التبديل الكهربائي لمغير تفرعي خطي، حيث يجب ألا يحدث انقطاع للحمل

في البدء يكون وضع مفتاح الاختيار S1 على المفرع 1 و S2 على المفرع 2. يقوم مفتاح التحويل بوصل المفرع 1 إلى النقطة الحيادية لملف المحول، وبالتالي يكون تسلسل عمليات التبديل إلى المفرع 2 على النحو التالي:

1. عند عمل آلية الطاقة المختزنة، تبدأ التماسات المتحركة بالانتقال من أحد جانبي مفتاح التحويل إلى الجانب الآخر، وبفتح التماس b ليمر تيار الحمل إلى التماس a من خلال المقاومة R1.
2. بعد ذلك، يغلق التماس المتحرك d ، فتصبح المقاومات R1 وR2 على التسلسل على طرفي المفرع 1 و2 ويمر تيار الحمل من خلال النقطة المتوسطة لهذه المقاومات.
3. يفتح الانتقال الإضافي للتماسات المتحركة التماس a ليمر تيار الحمل من المفرع 2 عبر المقاومة R2 والتماس d.
4. أخيراً، عندما يصل التماس المتحرك إلى الجانب الآخر لمفتاح التحويل، يغلق التماس c ويتم قصر المقاومة R2. يمر الآن تيار الحمل من المفرع 2 من خلال التماس c موضع التشغيل الطبيعي للمفرع 2.

لا يتضمن التحويل من الموضع 1 إلى 2 كما تم وصفه أعلاه حركة لمفتاح التحويل. إذا طلب أي تحويل إضافي في ذات الاتجاه، أي من 2 إلى 3 مثلاً، يتحرك مفتاح الاختيار S1 إلى المفرع 3 قبل تحرك مفتاح التحويل، ومن ثم يكرر مفتاح التحويل نفس التتابع الوارد أعلاه، ولكن بترتيب عكسي.

إذا كان التغيير سيتم بالاتجاه العكسي، فإن مفاتيح الاختيار تبقى ثابتة ويتم تنفيذ التحويل التفرعي عن طريق حركة مفتاح التحويل فقط.

بنية مغيرات الحمل التفرعية: على الرغم من زيادة سرعة مفاتيح التحويل بشكل كبير في السنوات الأخيرة، إلا أنه لا يمكننا تجنب وقوع بعض أقواس التفريغ على تماسات المفاتيح التي تقوم بوصل/فصل الدارات الإلكترونية ذات التحريض العالي. لذلك من المنطقي ألا تتكيف هذه المفاتيح للعمل مع ملفات المحولة ضمن وسط الزيت المشترك، لأن تلوث الزيت بمخلفات القوس سيقود بسرعة إلى خواص عازلية كهربائية ضعيفة وغير مقبولة. نظرياً، لا تقوم مفاتيح الانتخاب بقطع أي

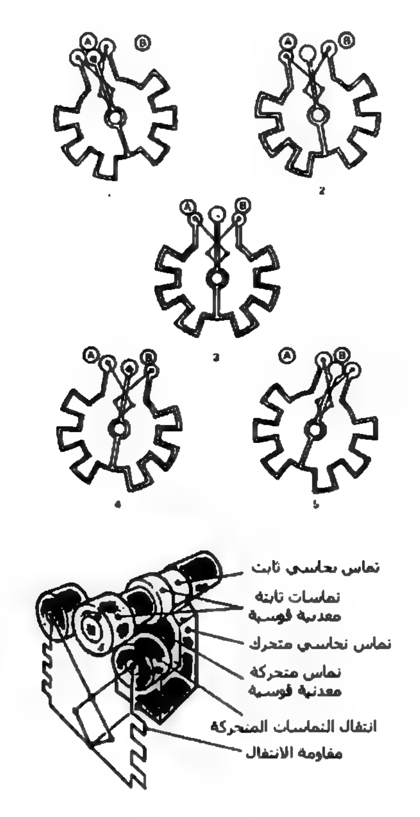
تيار على الرغم من أنه في مغيرات الحمل التفرعية القديمة، كان من المرغوب فيه أن تتم مراقبة شروطها بعناية. في المملكة المتحدة وبهدف السماح بتلك المراقبة بشكل منتظم، كان يجب على الدوام تنفيذ إجراء إضافي عبر تطويق إضافي لمفاتيح الاختيار لفصلها عن زيت الخزان الرئيسي وزيت مفتاح التحويل. كما ذكرنا أعلاه، يتم تصميم التماسات والمواد الحالية بحيث تبقى لفترات من المحتمل أن تكون طويلة جداً دون أي معاينة أو صيانة لمفاتيح الاختيار ولعدة سنين. كان متبعاً في كافة أنحاء القارة الأوروبية استخدام تماسات الاختيار في الخزان الرئيسي ولذلك ميزة تكمن في إمكانية تشكيل كافة موصلات التفريع ووصلها إلى تماسات مفتاح الاختيار الملائم قبل وضع المحولة في الخزان. في نمط الحجرة المتحركة، فإن التطبيق العملي العادي هو تركيب تماسات مفتاح الاختيار على لوح قاعدة المادة العازلة والذي يعد جزءاً من حجرة مفتاح الاختيار الرئيسي. ولهذا لا يمكن وصل موصلات التفريع إلى تماسات الاختيار حتى يرسو قلب المحولة وملفاتها ضمن الخزان، وهذه من مهام الملاءمة الصعبة حيث تحتاج لموصلات تفريع صناعية تعمل على مفتاح اختيار مزيف أثناء فترة بناء المحولة ومن ثم فصله قبل وضعها في الخزان. عندما تصبح الملفات داخل الخزان يصبح الوصول لهذه الوصلات مقيداً ومن الصعب الجزم ببقاء الخلوصات الكهربائية الضرورية بين هذه الوصلات مصانة.

من الضروري بالنسبة لمغيرات التفريع الموجودة داخل خزان، الاحتفاظ بزيت مفتاح التحويل منفصلاً عن زيت الخزان الرئيسي. ويتم تحقيق ذلك عادةً من خلال وضع مفاتيح التحويل ضمن أسطوانة من الزجاج المقوى بالراتنجات وتركب أعلى مجموعة مفاتيح الاختيار. وعند تركيب المحولة في الخزان، تتم إزالة غطاء المعاينة الذي يشكل الموقع الأعلى لهذه الأسطوانة ويؤمن وصولاً لمفاتيح التحويل. ويكون قابلاً للإزالة عبر قمة الأسطوانة لإجراء الصيانة والمعاينة القريبة. تستخدم مثل هذه التركيبة في Reinhausen نوع السلاسل M وهي عبارة عن تصميم ألماني، وكذلك تصنع في فرنسا بترخيص من مجموعة Alstom.

مغيرات التفرع أحادية الحجرة: تم تطوير مغيرات تفرع أحادية الحجرة للحصول على منظومة أكثر اقتصادية للحجم المتوسط، وبشكل رئيسي لمحولات 33/11 kV.

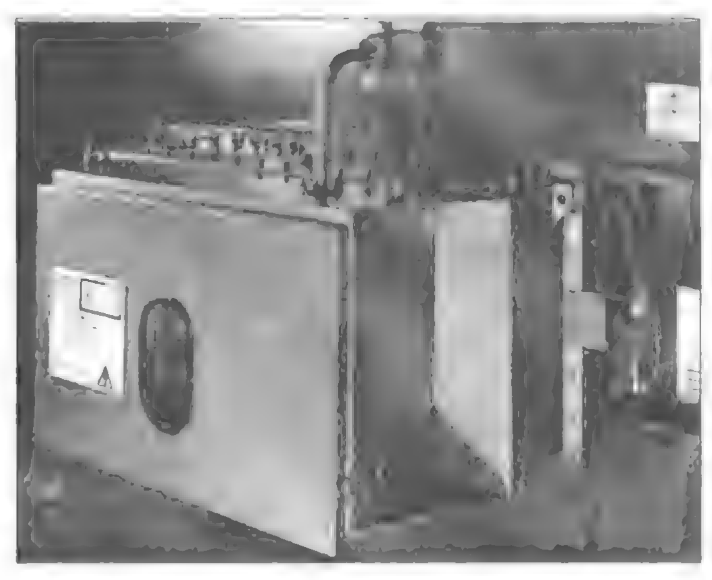
تم تحقيق ذلك عبر ضم كل من مفتاحي التحويل والاختيار وتركيبهما ضمن حجرة مستقلة تربط بالبراغي إلى جانب خزان المحولة. تأتي تماسات اختيار الموصل من داخل الخزان عبر قاعدة معزولة ويتم ترتيب تماسات كل طور حول محيط دائرة. تركب مقاومات التحويل على مفتاح التحويل/الاختيار المختلط الذي يدور حول عمود مركزي.

يبين الشكل (10.12) تتالي عملية التبديل لمغير تفريع أحادي الحجرة يستخدم عملية تبديل ثنائية المقاومة.



الشكل (10.12) تتالي عملية التبديل لمغير تفريع أحادي الحجرة

يبين المخطط (1) شروط عمل المحولة عند وضع الموصل 1 مع تيار حمل منقول بواسطة تماسات ثابتة ومتحركة. مرحلة التحول الأولى إلى الموصل 2 مبينة في المخطط (2) حيث يتم نقل التيار من التماس الرئيسي إلى تماس قدح مقاومة التحويل اليسرى ويمر من خلال المقاومة R1. المرحلة الثانية مبينة في المخطط (3) حيث يقيم تماس التحويل الأيمن تماساً مع موقع المحول 2 وبذلك يشترك تيار الحمل الآن بين المقاومات R1 وR2 وينتقل كذلك إلى موصل التيار الدائر. في المخطط (4) يتحرك تماس القدح الأيسر مبتعداً عن المحول 1 ويقطع التيار الدائر، والآن يتم نقل تيار الحمل الكلي من خلال مقاومة التحويل R2. تستكمل عملية تغيير التفرع بالخطوة المبينة في المخطط (5) وفيه تصبح التماسات الرئيسية والانتقالية على الموصل 2. مغير التفرع المستخدم لمثل هذا النظام مبين في الشكل (10.13).

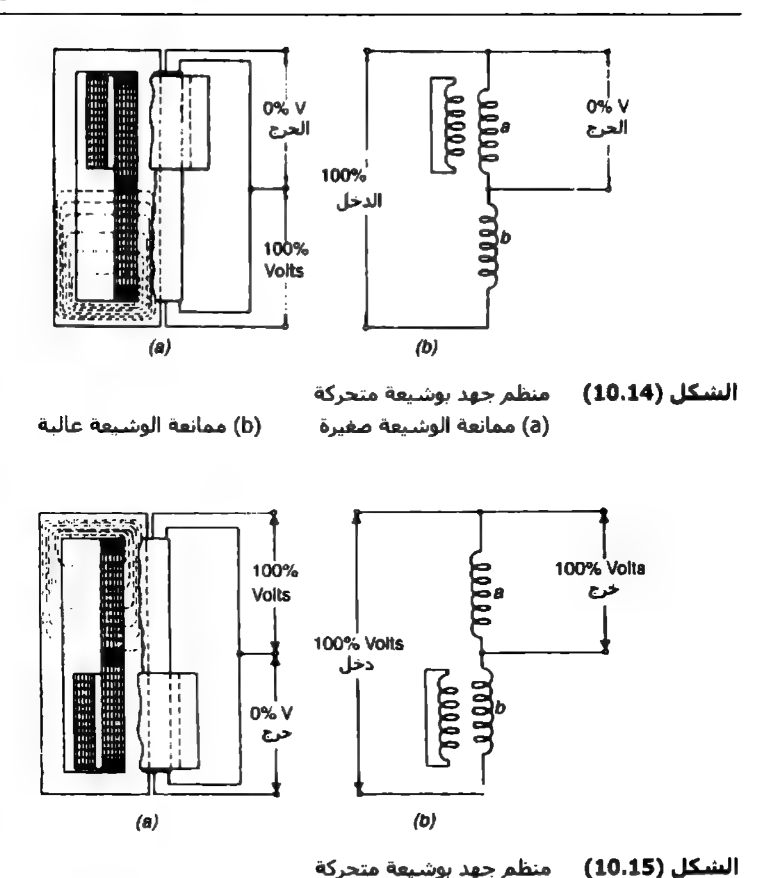


الشكل (10.13) مغير تفرعي مناسب لتطبيقات 132 KV, 66 KV, 44 KV, 300 A

منظم جهد الوشيعة المتحركة: لعدة سنوات استخدم منظم جهد الوشيعة المتحركة لتأمين تغيير كبير لجهد الخرج من أجل عمليات تشغيل (كشحن البطاريات مثلاً) أو لعمليات صناعية كالطلاء الكهربائي. من الرغم من أنه تم استبدال منظم جهد الوشيعة المتحركة هذا، وعلى نطاق واسع، بمعدات إلكترونية فإنه من الممكن مصادفتها أحياناً وذلك لأنها كانت مستخدمة على نطاق واسع.

تتكون ترتيبة اللف الأساسية لمنظم جهد الوشيعة المتحركة من وشيعتين ثابتتين ملتفتان على النصفين العلوي والسفلي لقلب مغناطيسي وموصولتان على التسلسل بشكل متقابل. ووشيعة ثالثة بنفس الطول مقصورة على ذاتها وحرة الحركة بالنسبة للوشيعتين السابقتين. تعزل الوشيعة المتحركة بشكل كلي، وبالتالي تنتفي الحاجة لأي وصلات مرنة أو حلقات متزلقة أو تماسات انزلاقية. يتحدد تقسيم الجهد بين الوشيعتين الثابتتين عن طريق ممانعتهما النسبية، ويتقرر ذلك بشكل كامل من خلال موقع الوشيعة المتحركة. مع الوشيعة المتحركة في الموضع المبين في الشكل (10.14) فإن ممانعة الوشيعة a ستكون صغيرة وممانعة الوشيعة b ستكون كبيرة. إذا طبق الجهد بالتالي عبر الوشيعتين الموصولتين على التسلسل فإن القسم الأكبر للجهد سيظهر عبر الوشيعة b، والقسم الأصغر عبر الوشيعة a. عندما تكون الوشيعة المتحركة عند أسفل الساق كما في الشكل (10.15) فإن الممانعة النسبية للوشائع a و b ستنعكس، وسيظهر الآن القسم الأكبر من الجهد عبر الوشيعة a. بترتيب مشابه لذلك المبين في الشكلين (10.14) و(10.15)، يمكن الحصول على مجال اختلاف كبير للجهد، عملياً من 0 إلى 100%، وبتحكم متغير لا نهائي ناعم.

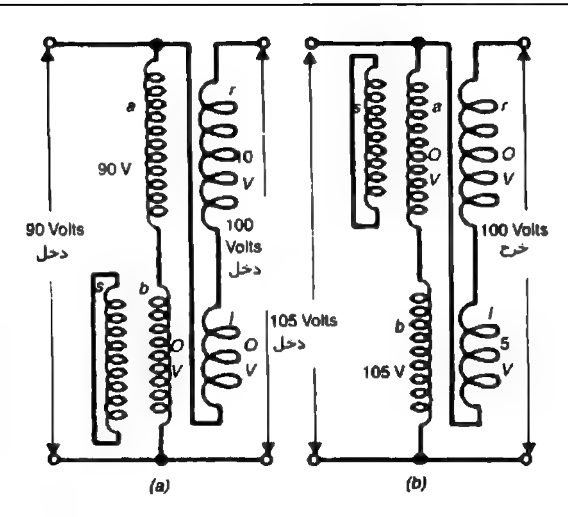
من أجل التطبيقات على النظم التي تحتاج إلى جهد متغير من 10 إلى 25% ، يمكن الحصول على ذلك عن طريق منظم جهد الوشيعة المتحركة باستخدام ملفات إضافية. في هذا الترتيب المبين في الشكل (10.14) و (10.15) تغيرات الجهد الناتجة تؤمن القيم المطلوبة عن طريق وشائع إضافية يتم وصلها على التسلسل مع الخط إما لمقاومة أو لدعم الجهد.



الشكل (10.14) منظم جهد بوشيعة متحركة
(a) ممانعة الوشيعة صغيرة (b) ممانعة الوشيعة عالية

الشكل (10.15) منظم جهد بوشيعة متحركة
(a) ممانعة الوشيعة عالية (b) ممانعة الوشيعة منخفضة

يوضح الشكل (10.16) ترتيب مناسب لتأمين جهد خرج ثابت 100% عندما يتغير الدخل بين 90% إلى 100% عن القيمة الاسمية، يضم الوشيعتين الإضافيتين r و l. يمكن تأمين أي قيمة مرغوبة عن طريق اختيار العدد المناسب من لفات الوشيعتين، موقع الوشيعة المتحركة يتغير عن طريق محرك صغير يعمل من خلال أداة تحسس موصولة إلى طرفي الخرج.



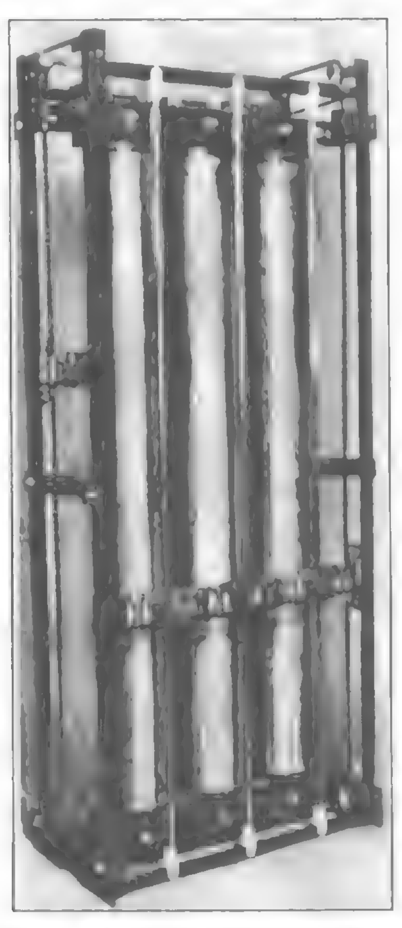
الشكل (10.16) منظم جهد بوشيعة متحركة مع وشائع إضافية

محولة التنظيم الخطي Brentford: تؤمن محولة التنظيم الخطي Brentford خيار آخر للحصول على جهد خرج متغير غير متدرج. وقد توقفت حالياً، لكن ما زال العديد منها في الخدمة. ومنظم Brentford عبارة عن محولة ذاتية بوشيعة أحادية الطبقة فوق بكرات كربونية تؤمن التماس الكهربائي مع كل لفة متوالية من الملف.

يمكن تصميم هذه المحولة للتشغيل أحادي أو ثلاثي الطور ومن أجل البنى الغاطسة بالزيت أو من النوع الجاف. والملف هو من النوع اللولبي، والذي يسمح ببناء الوحدات ثلاثية الطور بقلب ثلاثي الأطراف كما هو الحال في المحولة التقليدية.

يسمح الملف اللولبي بمجال عريض من أحجام الناقل النحاسي، وأقطار وأطوال الملف. يتم عزل اللفات بواسطة شريط زجاجي بعد طلاء ملف الوشيعة بالورنيش المخصب والخام. ومن ثم يشغل آلياً مسلك شاقولي عبر سطح معزول بغية الكشف عن كل لفة من الملف. تعمل سلسلة تماسات البكرة الكربونية المدعمة على حوامل

على امتداد الطول الكامل للملف لتأمين تغيير مستمر لنقاط التفريع لجهد الخرج. لدى تحرك التماسات، تقوم بقصر دارة اللفة ومقدار كبير من البحث يكون ضروريا للحصول على شروط التيار والنقل الحراري المثلى عند سطح الوشيعة. تتعلق هذه الشروط بالجهد بين اللفات المتجاورة وبتركيب مادة تماسات البكرة الكربونية.



الشكل (10.17) منظم ثلاثي الطور Brentford 415/0-415 V, 72 KVA, 100 A

لا يؤثر تيار الدارة المقصورة على عمر عازل الملف أو على ناقل الملف. وتحمل البكرات الكربونية على نابض، محامل ذاتية الضبط، وتدور وتنتقل على طول وجه الوشيعة بحد أدنى من الاحتكاك وفعل الدحرجة يكون أعلى من فعل الانزلاق لتماسات المسفرات. في الاستخدام العادي (الطبيعي)، يتجاوز عمر التماس 100 km من الانتقال مع إهمال الاحتكاك على سطح الملف. يبين الشكل (10.17) منظم Brentford ثلاثي الطور معزول بالهواء.

11

التعرفات وعامل الاستطاعة

التعرفات

تضخم أسعار الكهرباء: بعد خصخصة التغذية الكهربائية في بريطانية عام 1989، تعرضت بنية التعرفات لتعديلات رئيسية كانت متوقعة طبعاً، لأن أحد الأهداف الرئيسية لعملية الخصخصة تلك كان تأجيج المنافسة في قطاع إنتاج وبيع الطاقة الكهربائية.

بما أن الطاقة الكهربائية سلعة غير قابلة للتخزين بغية استخدامها عند الحاجة، كان هناك ثمة صعوبة ملموسة في تأمين هذه المنافسة تمثلت في إجراء تشغيل النظام لفترة يتم فيها تأمين الموازنة بين العرض والطلب. قبل خصخصتها، كانت مهمة CEGB المسؤولة عن تأمين التغذية الكهربائية منحصرة في المحافظة على هذا التوازن. ولفعل ذلك قامت بتشغيل محطة توليد بنظام يستحق التقدير، يتم من خلاله تشغيل المنشأة ذات كلفة الإنتاج الأرخص، والمستندة عادة على المردود الحراري، أما المنشآت ذات التكلفة الأغلى فقد كانت تلجأ لزيادة الكلفة فقط كلما زاد الطلب. تسلمت الغالبية العظمى من المستهلكين المستقلين إمداداتهم من Area Board التي احتكرت التغذية لما وراء المنطقة. حيث تستمد Area Board إمداداتها من CEGB عن طريق حجم تعرفة التغذية التي يتم نشرها سنوياً من قبل CEGB وتحسب اعتماداً على مجموعة معقدة من القواعد المرتبطة بتكلفة الوقود وتكاليف تشغيل المنظومة.

بعد خصخصة شركة National Grid Company (NGC) التي أسست لامتلاك وتشغيل شبكة النقل المتعاظمة وكذلك لإدارة حوض (pool) تسوية تجارة الكهرباء. يجب أن تباع الكهرباء كلها تقريباً عن طريق هذا الحوض، وعلى الشركات الموزعة (يصطلح تسميتهم بالموردين Suppliers في هذا الكتاب) الشراء من هذا الحوض. كانت عملية اختيار المنشأة التي ستعمل بفعالية في هذا المجال تكراراً للنسخ الوطنية الأقدم والتي كانت تعمل بنظام تحكم مركزي باستثناء أن تكاليف تشغيل المنشأة كان يتم إعلانها قبل يوم من قبل المولدات المستقلة. لم يكن أمام الموردين سوى فرصة ضعيفة إن لم تكن معدومة للتأثير على الأسعار عن طريق ثني طلباتهم. كان اليوم مقسماً إلى 48 فترة مدة كل منها نصف ساعة، وكانت توضع أسعار البيع وصفقات الحوض لكل فترة، كان ثمن الشراء هو ثمن وحدة التوليد ذات التسعيرة الأعلى العاملة في الفترة والمدفوعة لجميع المولدات عن توليدها في تلك الفترة، بصرف النظر عن التسعيرات المعلنة.

بعد عدة سنوات من العمل، ظهرت العديد من المشاكل في عمل الحوض، حيث لم تبد تسعيرات الحوض أي ميل ملحوظ للانخفاض في موازاة التخفيضات في تكاليف المولدات. فقد كانت هناك بعض المؤشرات على قدرة بعض المولدات على "ممارسة اللعبة" في الحوض، مع بروز قفزات حادة في أسعار الحوض لبعض الفترات النصف ساعية، و لم يستطع الموردين التأثير على سعر الكهرباء من جراء تخفيض الطلب في فترات الذروة.

بعد ذلك رعت الحكومة انعقاد مؤتمر شامل قام بمراجعة وتعديل أنظمة وقوانين تجارة الطاقة الكهربائية الجديدة، New Electricity Trading Arrangement(NETA)، التي قدمت في آذار من عام 2000، لتحل محل الحوض "pool" والذي أوقف العمل بموجبه منذ ذلك التاريخ. كان على الموردين والمولدين بموجب NETA إجراء أنظمة تعاقدية ثنائية الجانب فيما بينهم لتغذية الطاقة الكهربائية، وتتم المتاجرة بحجم التوليد من خلال هذه العقود الثنائية. القواسم المشتركة في السوق هي بشكل عام تحرير تجارة الكهرباء فيما بينهم للفترات القادمة.

استمرت NGC بالتحكم بالنظام، لكن بقي دورها منحصراً في التأكد أن العرض والطلب هما في حالة توازن ثانية بثانية. بقيت الفترات النصف ساعية، وفي كل فترة من أجل الوقت السابق فقط يمكن لمشغل النظام (system operator) الاتجار بالطاقة ويتم فعل ذلك بغية الوصول للتوازن. ويجب أن يصرح المولدين والموردين عن أوضاعهم التعاقدية في بداية الفترة لكل نصف ساعة، وقد وضعت الأنظمة التجارية رسم على الموردين أو المستثمرين يغطي تكاليف الوصول إلى منظومة متوازنة بشكل تام. تم فرض رسوم تأديبية ضعيفة المعدل لتشجيع الشركاء على الالتزام بتعهداتهم التعاقدية. دلت البوادر الأولى على نجاح NETA فقد دخلت سوق العمل من دون أي انقطاع للتغذية، وقد أظهرت بعض المؤشرات بعد فترة الاستقرار البدائية وجود بعض الضغوط المبذولة لتحقيق تخفيض حقيقي في أسعار الطاقة الكهربائية التي انعكست من خلال تضخيم تكاليف الإنتاج عما كانت عليه الحال في فترة عمل الحوض "pool".

إمداد المستهلكين بالطاقة الكهربائية: كان المستخدمون الكبار للطاقة الكهربائية وحدهم القادرون على إيجاد مورديهم وإبرام عقود التغذية الخاصة بهم خلال المراحل الأولى من عملية الخصخصة. ومنذ تلك المراحل وضع حجم المستهلك التخفيض المتدرج من قبل الحكومة وفق جدول زمني نشر في فترة الخصخصة. وعلى ضوء ذلك، تمكن جميع المستخدمين في عام 1999 من الحصول على حصصهم من الطاقة الكهربائية من أي مورد كان مستعد أن يزودهم. ومنذ تبني NETA، لم يكن من الضروري على الموردين القيام بشراء حصصهم من الطاقة من المولدين، فسواء فعلوا ذلك أم لم يفعلوا، كان يتوجب على المستخدمين المستقلين أن يغطوا نفقات مشترياتهم ونفقات التشغيل الأخرى، دفع ضرائب أرباحهم، وضريبة "استخدام المنظومة". تشمل ضريبة استخدام المنظومة نفقات إرسال الكهرباء "عبر الأسلاك" المرتبطة مع المباني أو العقارات التابعة للمستهلكين، بما فيها النفقات المرتبطة بتركيب وصيانة تلك الأسلاك.

في ظل هذه الحرية المتاحة للموردين والمستهلكين، لم يكن مفاجئاً وجود العديد من أنظمة التعرفات في الخدمة. حيث يستطيع معظم المستخدمين المترليين الاختيار من

بين أكثر من 12 من الموردين المحتملين وليس من السهل تقرير أيهم سيكون أقل تكلفة. قد يبدو وضع المستخدمين التجاريين والصناعيين أكثر تعقيدا. بالرغم من تعقيدها الواضح، من ناحية أخرى، هناك بعض العوامل المشتركة لمعظم أنظمة التعرفات وغالبية هذه العوامل مماثلة لتلك التي كانت مطبقة قبل عملية الخصخصة.

عند التزود بالطاقة، نواجه كلفتين أساسيتين: الأولى هي كلفة الطاقة المستهلكة بالفعل، والثانية هي كلفة تأمين الأساس – الأسلاك – التي عبرها يتم التزود بالطاقة. من الواضح بأنه حتى إذا تم استخدام الطاقة الكهربائية بشكل ضعيف أو لم تستخدم، فإن المرود سيواجه كلفة التزود بالتوصيلات والربط. أما عند استخدام كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية، فإن كلفة الطاقة المستهلكة ستكون المهيمنة ولكن سيظل المستهلك يواجه التكاليف المرتبطة بالتوصيلات والربط.

سمح ذلك لمعظم الموردين باستخدام تعرفة الجزأين. وترتكز هذه التعرفة على تكلفتين، يغطى الجزء الأول منها بواسطة الكمية السنوية والجزء الثاني بواسطة رسم الوحدة المستخدمة. تتعلق مجموعة التعرفات بالحمل الأعظمي وبالمعدلات المختلفة للوحدة المتعلقة باستخدام وحدة معينة في كل ربع.

تعمل الصناعة وفق نظام الطلب الأعظمي، بينما تتوفر أشكال أخرى للتعرفات بالنسبة للمزارع. التعرفات المتخصصة تضم تعرفة Economy7 لأوقات خارج الذروة، وأوقات أخرى من اليوم.

عامل التحميل Load factor: يمكن تعريف عامل التحميل على أنه الحمل المتوسط بالمقارنة مع الحمل الأعظمي لأي فترة زمنية معطاة. ويحسب كالتالي:

$$\frac{\text{الطاقة المستهلكة فعلاً}}{\text{الطلب الأعظمي} \times \text{زمن الفترة بالساعات}}$$

يمكن أن يتغير عامل التحميل لمستهلك ما من 5% كحد أدنى إلى 80% كحد أعلى، ولكنه يتراوح عادة بين 10% (للإنارة فقط) و 40% (للأحمال الصناعية والتسخين). يمكن أن تتعرض بعض الصناعات للحمل لمدة 24 ساعة، عندئذ وفي هذه الحالة

نحصل على أرقام عامل تحميل عالية جداً. بسبب طبيعة جزأي كلفة التزود بالطاقة الكهربائية، فإن لعامل التحميل الفعلي أثر مباشر على الكلفة لكل وحدة، وذلك لأن الرسم الثابت لتغطية الكلفة الأولى يقسم على جميع الوحدات المستخدمة خلال الفترة. فكلما ازدادت الوحدات المستخدمة (وكلما كبر عامل التحميل) كلما انخفضت الكلفة الثابتة لكل وحدة. لهذا السبب فإن هدف أي مهندس يزود بالطاقة هو تكبير عامل التحميل قدر المستطاع كما سيتم توضيحه لاحقاً. وعادةً تقدم إغراءات خاصة لتمكين المستهلك من فعل ذلك.

التباين Diversity: يعطى تباين حمل المنبع عن طريق ما يسمى بعامل التباين الذي يحسب كالتالي:

$$\frac{\text{مجموع الطلبات العظمى للمستهلكين}}{\text{الطلب الأعظمي للمنظومة}}$$

وسنجد بأن:

$$\text{عامل التباين} = \frac{\text{عامل تحميل المنظومة}}{\text{عامل التحميل المتوسط للمستهلك}}$$

ملاحظة

يحسب عامل التحميل المتوسط للمستهلك بالعودة للاستهلاك الفعلي وليس كمتوسط عددي وحسب.

التعرفات Tariffs: لهذه التعرفات عادةً ثلاثة أنواع أساسية صناعية وتجارية ومنزلية. بالرغم من بقاء مبادئ الخصخصة هي ذاتها، فالأمثلة القادمة تبقى صحيحة بشكل عام. قامت معظم شركات التوزيع بتغييرين، فقد عرضت تعرفة اليوم الموسمي والتي لا تشمل مركبة الطلب الأعظمي، ولكنها وضعت تكلفة أعلى للوحدة في الشتاء بالمقارنة مع تكلفة الوحدة صيفاً.

استمرت تعرفة الجزأين الصناعية من دون تغيير تقريباً، وهي تستند على الطلب الأعظمي – إما بواحدة kW أو بواحدة kVA– وفي العديد من الحالات في السنة. والتعرفة الصناعية النموذجية لـــ V 1 يمكن أن تكون رسم ثابت بمقدار £1.00 لكل kVA من سعة الخدمة شهرياً، £16.50 لكل شهر، £17.00 للوحدات الليلية. بالإضافة إلى رسم الطلب الأعظمي لكل kW في كل شهر كالتالي: من نيسان إلى تشرين الأول £0.11، تشرين الثاني وشباط £4.5، كانون الأول والثاني £7.70 وآذار £1.85. ومن ثم هناك رسوم الوحدة المتغيرة تبعاً للتوقيت اليومي. تعرض الكثير من الشركات مجالاً واسعاً من الخيارات المستندة على الطلب الأعظمي ويمكن أن تؤخذ التغذية عند جهد عالي أو منخفض. نموذجياً تستند تغذية V 1 على الطلب الشهري الأعظمي عند تجاوز الحمل 10 kW وقد تكون كالتالي: الرسم الشهري الثابت £12.8، من تشرين الثاني – شباط، أول 10 kW بمقدار £9.5 لكل شهر، آذار– تشرين الأول، أول 10 kW بمقدار £0.35 لكل شهر مع رسم وحدة يومي بمقدار 4.5 p.

حالياً، أصبح من الطبيعي إسقاط الرسم الثابت على حالة المجموع الشهري أو المجموع السنوي مع رسم غرامة على عامل الاستطاعة المنخفض، وهذا ما يدفع المستهلك بالتالي لتركيب مكثفات تصحيح عامل الاستطاعة لرفع عامل الاستطاعة المنخفض إلى قيمة تتجاوز 0.9.

يتم الحصول على أرقام الطلب الأعظمي بواسطة مؤشرات الطلب الأعظمي التي تعطي الحمل الأعلى (بواحدة kW أو kVA استناداً للتعرفة) الذي يحدث في فترة زمنية معطاة – مثلاً 15 أو 30 دقيقة. في عدد من الحالات يتم عرض تعرفات خاصة على المستهلكين بحمولات تشجيعية.

تصحيح عامل الاستطاعة

تشجع رسوم العديد من التعرفات المستخدم على المحافظة على عامل استطاعة مرتفع (قريب من الواحد) لشبكته الكهربائية عن طريق تغريم عامل الاستطاعة المتدني. يمكن تحسين عامل الاستطاعة عبر تركيب معدات تصحيح عامل الاستطاعة، حيث

غالباً ما تتم تغطية تكاليف رأس المال خلال عدة سنوات من الوفورات الناجمة عن خفض الفواتير الكهربائية.

تنتج عوامل الاستطاعة المنخفضة بشكل رئيسي عن المحركات التحريضية وأضواء الفلوريسانت، ويمكن تطبيق تعويض على أجزاء إفرادية من المعدات على مراحل بواسطة التبديل الآلي، أو في مواقع التسرب ضمن التغذية القادمة. توفر الشركات المتخصصة النصح للأنظمة الأكثر اقتصادية لمنشأة ما.

بواسطة المكثفات: يمكن تخطيطياً تحديد مقدار kVA المطلوب لتصحيح عامل الاستطاعة باستخدام مخططات كالمبينة في الشكل (11.1). كما يمكن حساب السعة المطلوبة كالتالي: بالعودة للشكل (11.2)، يمثل حمل التيار بواسطة OI_L ويتأخر بزاوية ϕ_1 وبالتالي يكون $\cos\phi_1$ هو عامل استطاعة الحمل. ليكن المطلوب تحسين عامل الاستطاعة إلى $\cos\phi_2$ عن طريق المكثفات، فسيكون التيار الناتج ممثلاً بواسطة OI_R في الشكل (11.2) والطريقة المستخدمة هي kW الثابت الواحد. للحصول على هذا القدر من التصحيح، يجب أن يساوي تيار المكثفة $I_L - I_R$، وتعطى هذه القيمة بواسطة العلاقة:

$$OI_C = OI_L \sin\phi_1 - OI_R \sin\phi_2$$

يتم رسم المخطط الشعاعي للتيار، ولكنه كذلك قابل للتطبيق من أجل kVA لأن التيار يتناسب مباشرةً مع kVA. إذاً يمكن اعتماد OI_L و OI_C و OI_R لتمثيل kVA للحمل والمكثفة و kVA الناتج على التوالي.

في هذه الحالة تكون الشروط الابتدائية كما يلي:

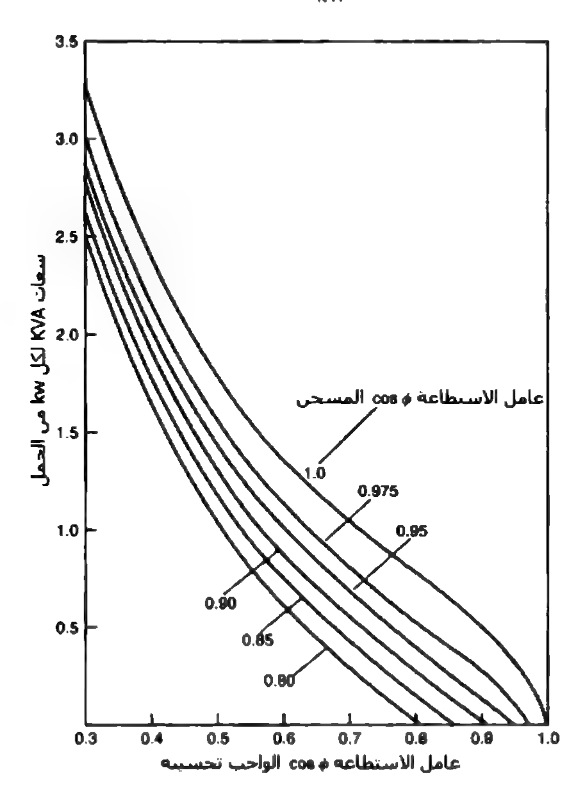
$$\cos\phi_1 = \frac{kW}{kVA_L}$$

$$\tan\phi_1 = \frac{kVA_{rL}}{kW}$$

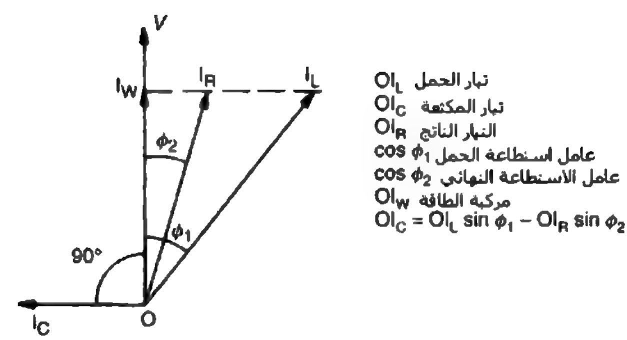
أما الشروط المحسنة فستكون:

$$\cos\phi_2 = \frac{kW}{kVA_{rR}}$$

$$\tan\phi_2 = \frac{kVA_{rR}}{kW}$$



الشكل (11.1) تحديد KVAr اللازم تخطيطياً عند ارتفاع عامل الاستطاعة من قيمة إلى قيمة أعلى



الشكل (11.2) **مخطط السعات**

مكثفة kVA_r اللازمة لتحسين العامل من $\cos\phi_1$ إلى $\cos\phi_2$:

$$= \left(kVAr_L - kVAr_R\right)$$
$$= kW\left(\tan\phi_1 - \tan\phi_2\right)$$

السعة الفعلية المطلوبة: قد يكون من الضروري تحويل مكثفة kVA إلى سعة µF والعلاقة القادمة تبين كيفية إجراء هذا التحويل:

أحادي الطور: يعطى التيار في المكثفة بالعلاقة:

$$I_C = 2\pi f C V$$

حيث:

I_C = التيار A

f = التردد

C = تقدير السعة F

V = الجهد



$$1F = 10^6 \mu F$$

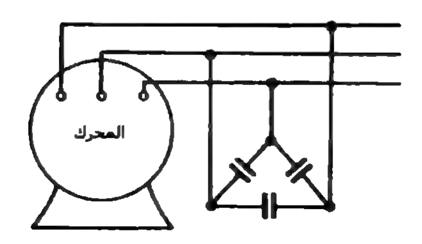
ثلاثي الطور: يعطى تيار الخط الكلي المأخوذ بواسطة ثلاث مكثفات ذات وصل مثلثي كما هو مبين في الشكل (11.3) كما يلي:

تيار الخط = $\sqrt{3}$ تيار الطور في كل مكثفة.

إذاً تيار الخط الكلي = $\sqrt{3}(2\pi f C V)$

و kVA هو $\sqrt{3}VI\times10^{-3}$، وبالتالي يعطى kVA بواسطة العلاقة:

$$kVA = \frac{3(2 f C V^2)}{1000}$$



الشكل (11.3) ربط المكثفات بشكل مثلثي من أجل ثلاثي الطور

تمثل C المستخدمة في العلاقة أعلاه تقدير واحدة من المكثفات الثلاث التي تشكل التوصيلة المثلثية وبالتالي فإن التقدير الكلي هو 3C، وهذا يعطينا العلاقة:

$$C = \frac{\text{kVA}\times1000}{3(2\pi f V^2)}$$

إذاً التقدير الكلي:

$$3C = \frac{\text{kVA}\times1000}{2\pi f V^2} \quad \text{F}$$

تصحيح المحرك المتزامن: يمكن أن يتم وضع محرك متزامن ليأخذ التيار المتقدم (التيار عند عامل استطاعة متقدم) عن طريق الإفراط في تهييجه. ويمثل هذا الفعل يمكن تأمين تصحيح لعامل الاستطاعة.

بالعودة للشكل (11.4)، لا يمكن دوماً أن يكون التيار اللازم للمحرك المتزامن ثابتاً بالكمية المرغوبة من تصحيح عامل الاستطاعة، كما في هذه الحالة حيث يقود الحمل وهذا الحمل هو الذي سيقوم بتثبيت التيار وكذلك عامل الاستطاعة الذي يعمل عنده.

من غير العملي إعطاء علاقة لمعالجة هذه القيم، وبالتالي يفضل البدء بالحمل الرئيسي المحتمل والحمل المتغير الممكن استخدامه للمحرك المتزامن.

الجدول (11.1) مركبات مفاعلة القدرة والطاقة لعوامل استطاعة مختلفة

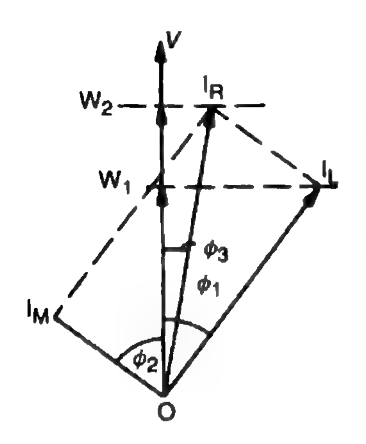
لكل kW		لكل kVA		الزاوية (degrees)	عامل الاستطاعة cosΦ
مركبة لاواطية	KVA	مركبة لاواطية	طاقية		
0	1.0	0	1.0	0	1.0
0.20	1.02	0.20	0.98	11.48	0.98
0.29	1.04	0.28	0.96	16.26	0.96
0.36	10.6	0.34	0.94	19.95	0.94
0.43	1.09	0.39	0.92	23.07	0.92
0.48	1.11	0.44	0.90	25.83	0.90
0.54	1.14	0.48	0.88	28.37	0.88
0.59	1.16	0.51	0.86	30.68	0.86
0.65	1.19	0.54	0.84	32.874	0.84
0.70	1.22	0.57	0.82	34.92	0.82
0.75	1.25	0.60	0.80	36.87	0.80
0.80	1.28	0.63	0.78	38.73	0.78
0.86	1.32	0.65	0.76	40.53	0.76
0.91	1.35	0.67	0.74	42.27	0.74
0.96	1.39	0.69	0.72	43.95	0.72
1.02	1.43	0.71	0.70	45.57	0.70
1.08	1.47	0.73	0.68	47.15	0.68
1.14	1.52	0.75	0.66	48.70	0.66
1.20	1.56	0.77	0.64	50.20	0.64

الجدول (11.1) /تابع/

لكل kW		لكل kVA		الزاوية (degrees)	عامل الاستطاعة cosΦ
مركبة لاواطية	KVA	مركبة لاواطية	طاقية		
1.27	1.61	0.78	0.62	51.68	0.62
1.33	1.67	0.80	0.60	53.13	0.60
1.40	1.72	0.82	0.58	54.55	0.58
1.56	1.85	0.84	0.54	57.32	0.54
1.64	1.92	0.85	0.52	58.66	0.52
1.73	2.00	0.87	0.50	60	0.50

بالرجوع إلى المخطط الطوري، إذا أُخذت القيم إما من أجل التيارات كما هو مبين في المخطط الطوري أو ما يناسبها من kVA، يمكن الحصول على تياراتها الناتجة أو kVA كما يلي:

$$OI_R = \sqrt{(OI_1 \cos\phi_1 + OI_M \cos\phi_2)^2 + (OI_1 \sin\phi_1 - OI_M \sin\phi_2)^2}$$



OI_L تيار الحمل الرئيسي
OI_M تيار المحرك المتزامن
OI_R التيار الناتج
$\cos\phi_1$ عامل استطاعة الحمل
$\cos\phi_2$ عامل استطاعة المحرك المتزامن
$\cos\phi_3$ عامل الاستطاعة النهائي
$OW_1 \; \alpha$ الحمل الأصلي
$OW \; \alpha$ الحمل النهائي

الشكل (11.4) مخطط محرك متزامن

يمكن الحصول على عامل الاستطاعة الناتج من العلاقة:

$$\tan\phi_2 = \frac{OI_L \sin\phi_1 - OI_M \sin\phi_2}{OI_L \cos\phi_1 + OI_M \cos\phi_2}$$

إذا كان هناك لأي حالة معطاة، حمل رئيسي ثابت عند عامل استطاعة محدد إضافةً لحمل kW معطى لمحرك متزامن، فإنه ينصح بحساب عامل الاستطاعة الناتج عن طريق إجراء ذلك لعوامل استطاعة متقدمة مختلفة للمحرك المتزامن.

يجب أن يبقى ماثلاً في الأذهان بأن المحركات المتزامنة والمحركات المتزامنة التحريضية لن تعمل بشكلٍ مرض عند عامل استطاعة منخفض جداً حيث تؤخذ عادةً قيم متقدمة بين 0.6 و 0.9 للحصول على نتائج مرضية.

12

متطلبات التركيبات الكهربائية (BS 7671)

تعليمات التوصيلات الكهربائية لمعهد المهندسين الكهربائيين IEE (الطبعة 16)

في عام 1992 تحولت الطبعة 16 من تعليمات التوصيلات الكهربائية لمعهد المهندسين الكهربائيين IEE إلى المواصفة القياسية البريطانية BS 7671:1992، حيث احتفظت بالعنوان الفرعي "تعليمات التوصيلات الكهربائية لمعهد المهندسين الكهربائيين IEE الطبعة 16".

تلا ذلك مراجعتها بشكل مستفيض وفقاً لقواعد BSI وإجراءاتها والتي أضحت حالياً BS 7671:2001. نشرت الطبعة الجديدة هذه في حزيران (يونيو) من عام 2001 ، سرى مفعولها منذ مطلع كانون الثاني (يناير) من عام 2002، وبهذا، توجب امتثال جميع الأجهزة المصممة بعد ذلك التاريخ لتعليماتها، فيما ترك الخيار متاحاً أمام المصممين باعتماد إحدى الطبعتين قبل ذلك التاريخ.

أعيدت كتابة هذا الفصل كلياً بالاستناد إلى BS 7671:1992، وتم ملاحظة جميع التعديلات التي طرأت بما فيها التعديل رقم 1 الصادر في كانون الأول (ديسمبر) من عام 1994. وصدر موجز عن هذه التعديلات في طبعة 2001 (وهذا الموجز معروض

لاحقاً). جرى تحديث كل ما تبقى من هذا الكتاب بحيث يعكس تلك التعديلات قدر المستطاع، ومع ذلك، روعي لهذا الفصل كباقي الكتاب، أن يكون مصدراً مرجعياً في متناول اليد. فهو لن يمثل دليلاً للتعليمات ولكل المواضيع، فالتعليمات بحد ذاتها ستعتبر مصدراً نهائياً للمعلومات ذات العلاقة المقبولة بتصميم واستثمار الجهاز الكهربائي.

اعتمدت BS 7671:2001 في هذا الفصل كمصدر لتعليمات IEE للتوصيلات الكهربائية، وقد استخلصت المعلومات كذلك من الملاحظات الإرشادية المدرجة في نهاية هذا الفصل. تم أيضاً أخذ التعديل على الطبعة BS 7671:2001 رقم 1 الصادر في شباط (فبراير) من عام 2002 بعين الاعتبار، وقد تزامن التعديل رقم 1 على طبعة 1992 للمواصفات BS 7671 مع تغيير القيم الاسمية لجهود التغذية في المملكة المتحدة. حيث جرى تخفيض جهد التغذية المترلية أحادية الطور من 240 V±6% إلى 230 V+10%-6%، أما جهود التغذيات ثلاثية الطور فقد عدلت من 415 V±6% لتصبح 400 V+10%-6%. وعن ذلك في الواقع تغييرات طفيفة جداً كون المجالات الجديدة تطوق القسم الأكبر من المجالات السابقة، لكنه الآن يقدم التشكيل الجديد الأقرب مع أوروبا.

ملاحظات حول موجز الطبعة 16

في نظام الترقيم المتبع في الطبعة 16 (المختلف تماماً عن الطبعات السابقة)، يشار إلى الجزء بالرقم الأول، وإلى الفصل بالرقم الثاني، وإلى القسم بالرقم الثالث، وتمثل الأرقام اللاحقة المتعاقبة رقم التعليمة. فمثلاً يتكون القسم ذو الرقم 413 من التالي:

الجزء 4 – الحماية للأمان.

الفصل 41 (الفصل الأول من الجزء الرابع) – الحماية من الصدمات الكهربائية.

القسم 413 (القسم الثالث من الفصل الأول من الجزء الرابع) – الحماية من التلامس غير المباشر.

فيما يلي تفاصيل الأجزاء الستة (سنعرض لاحقاً في هذا الفصل قائمة تفصيلية بالمحتويات):

رقم الجزء	الموضوع
1	المبادئ الأساسية للأمان.
2	تعاريف.
3	تقييم المواصفات العامة - تعريف بالمواصفات العامة التي نحتاج لأخذها بالاعتبار لدى اختيار وتطبيق المتطلبات الخاصة بالأجزاء المتتالية. يمكن لهذه المواصفات أن تتغير من جزء لآخر لجهاز ما، ويجب تقييمها من أجل كل موقع لخدمة الجهاز.
4	الحماية للأمان - توصيف القياسات الأساسية المتاحة لحماية الأفراد والعقارات والمواشي، والتدابير المضادة للأخطار الناجمة عن استخدام الكهرباء. تتناول كل من الفصول 41 إلى 46 مخاطر خاصة، بينما يتعامل الفصل 47 بمزيد من التفاصيل مع التطبيقات الخاصة للتدابير الوقائية الأساسية، وينقسم إلى أقسام مرقمة تبعاً للفصول السابقة، لهذا فإن القسم 471 يقرأ بشكل مرتبط مع الفصل 41، والقسم 473 مع الفصل 43، والقسم 476 مع الفصل 46.
5	اختيار وبناء المعدات يتعلق الفصل 51 بالمعدات بشكل عام، بينما تتعلق الفصول 52 و53 بأنواع المعدات الخاصة.
6	التجهيزات أو المواقع الخاصة - المتطلبات الخاصة -
7	المراقبة والاختيار

يجب اتباع تسلسل الخطة والأخذ بعين الاعتبار تطبيق أي متطلبات خاصة من التعليمات. يمكن اعتبار الفهرس العام مصدراً جاهزاً للتعليمات الخاصة المتعلقة بالموضوع، غير أن تطبيق أي من متطلبات تعليمة ما من التعليمات ذات الصلة يجب أن يرسخ في الأذهان. تتوفر مصادر مرفقة ويقوم الفهرس بترتيبها للتسهيل.

في العديد من الحالات تغطى مجموعة من التعليمات بارتباطها بعنوان جانبي معرف بواسطة عدد مكون من جزأين مثل 547-03 . في أي مكان تجد فيه مرجعاً مشاراً إليها بعدد مؤلف من جزأين، فإن هذا المرجع يجب أن يضم كافة التعليمات المستقلة ذات الأرقام المغطاة بالعنوان الجانبي والتي تتضمن ذلك العدد ثنائي الأجزاء.

التعديلات التي تم إدخالها في طبعة 2001

قبل الغوص في تفاصيل التعليمات، من المناسب تفحص التعديلات التي تم إدخالها في نسخة عام 2001. والتي لا زالت تحمل العنوان الفرعي " تعليمات التوصيلات الكهربائية لمعهد المهندسين الكهربائيين IEE الطبعة 16" وذلك لأن المادة وفلسفة العرض بقيت كما هي في الطبعة 16، حيث خضعت للتعديل في أماكن محددة في التفاصيل، بينما توسعت التفاصيل في بعض الأمكنة وبشكل خاص في الجزء الأول.

قامت طبعة العام 2001 بدمج كافة التعديلات التي طرأت على الطبعات السابقة بما فيها التعديل رقم 3 المؤرخ في نيسان (أبريل) 2000 والذي تعرض للدعم والتصحيح. والتعديلات نجمت عن ثلاثة مصادر:

a. بسبب الانسجام مع المعيار CENELEC

b. بسبب تغير المتطلبات الوطنية البريطانية

c. بسبب المنتجات المعيارية الجديدة والقديمة

يمكن دراسة التعديلات الطارئة تحت ستة عناوين:

1. المبادئ الأولية للأمان
2. الوقاية من الجهود المفرطة
3. التدابير الوقائية من تواجد مخاطر الحريق
4. الأجهزة أو المواقع الخاصة
5. المراقبة والاختبار

6. الدعم القياسي والمقاربات الجديدة

المبادئ الأساسية: تم التصريح عن التعديلات هنا عبر إعادة بناء كاملة للجزء الأول. في الماضي، اعتبر العديد أن هذه التعليمات صالحة للتطبيق فقط على التطبيقات المترلية والمماثلة لها.

مجال التعليمات: يبين الفصل (11) الجديد "مجال العناصر والمبادئ الأساسية" وبوضوح أن هذه التعليمات مطبقة على جميع الأجهزة مع استثناء بعض التطبيقات المحددة الخاضعة لتعليمات أخرى منفصلة. تشمل أجهزة العقارات التجارية والصناعية، الزراعية والبساتين، العقارات العامة، الأبنية مسبقة الصنع، العربات المتنقلة ومواقفها والمواقع المشابهة، مواقع الأبنية، المعارض، الأسواق، وتجهيزات الأبنية المؤقتة الأخرى، مغذيات الطاقة للطرق السريعة، وأثاث الشوارع والإنارة الخارجية.

استثناءات المجال: تستثني التعليمة 110-02 أعمال مصادر طاقة معدات الجر للخطوط الحديدية، معدات محركات السيارات عدا العربات المتنقلة، السفن، الطائرات، المنصات البحرية العائمة الثابتة والجوالة، المناجم ومقالع الحجارة، معدات القضاء على تشويش الراديو عدا تلك التي تؤثر على سلامة الأجهزة. تتناول حماية إنارة الأبنية BS 6651، وتغطي BS 5655 تجهيزات ومعدات الروافع.

العلاقة مع التعليمات الشرعية: واضح أيضاً من التعليمة 110-04 أن التعليمات غير شرعية، لكنها مع ذلك يمكن أن تستخدم في المحاكم لإثبات طلب الامتثال للمتطلبات الشرعية. (يمكن التعرف أدناه على التعليمات المعرفة بواسطة BS 7671 ذات الصفة الشرعية).

تم اختزال محتوى الفصل الجديد (12) – العناصر والتأثيرات –. حيث اقتصر حالياً على عرض التعليمات. وتم نقل البعض من محتوياته كالتعليمة 110-04-01 و 110-05-01 على سبيل المثال إلى الفصل (11)، والبعض الآخر نقل إلى الفصل (13).

يقوم الفصل (12) حالياً بعرض التعليمات الحاوية على قواعد تصميم وبناء التجهيزات الكهربائية المناسبة للمهام الآمنة والصحيحة مع الاستعمالات المزمعة، ويقوم بإحالة القارئ إلى الفصل (13) للاطلاع على المبادئ الأساسية.

يعالج الفصل (13) الجديد – المبادئ الأساسية – المبادئ المنضوية تحت في الأجزاء المتعاقبة والتي تتناول أمان وتصميم واختيار المعدات بالإضافة لمراقبتها واختبارها. تتوجه متطلبات هذا القسم لتأمين سلامة الأفراد والمواشي والعقارات.

تؤدي مخاطر الأجهزة الكهربائية إلى بعض الخسائر التي قد تنتج عن:

a. تيارات الصدمة

b. الحرارة المفرطة

c. التحريك الميكانيكي للأجهزة الكهربائية أثناء عملها

d. الانفجار

ويجب تصميم الأجهزة الكهربائية من أجل:

a. حماية الأفراد والمواشي والعقارات

b. المهام والواجبات الصحيحة للأجهزة الكهربائية

يجب أن يتطابق أي بند من المتطلبات مع المواصفات القياسية الوطنية الملائمة EN أو HD.

يتضمن البناء الصناعة الجيدة، والمواد الصحيحة، وتعريف النواقل، البنية المقنعة للوصلات والارتباطات. يشتمل تحقيق المطابقة على المراقبة والاختبار عند الانتهاء. يقوم الشخص المسؤول عن المراقبة والاختبار بوضع توصيات المراقبة والاختبار خلال فترات دورية متعاقبة.

الوقاية من تجاوز الجهد: للمرة الأولى تقدم تعليمات متعلقة بالحماية من الاندفاع المفاجئ للجهد، ويصرح عن هذه التعليمات في الفصل (44) الجديد – الوقاية من تجاوز الجهد – حيث لا يتم تطبيق هذه التعليمات لدى تغذية جهاز ما بشبكة جهد منخفض لا تحوي على خطوط نقل رئيسية. تقع تطبيقاته كذلك في المواقع التي تتعرض لمعدل منخفض من الأيام العاصفة، والمستوى AQ الذي يعبر عن معيار الوقاية من الأضرار. حيث يتطلب مستوى الحماية من الأضرار انعدام AQ1 (25 => أيام عاصفة في السنة). وكبديل عن المعيار AQ يمكن إسناد الوقاية من الأضرار إلى تقييم المخاطر.

الإجراءات الوقائية (الاحترازية) لدى وجود خطر الحريق: يغطى ذلك في الفصل الجديد (48). بالرغم من الانتباه الموجه نحو الحاجة للامتثال مع الفصل (42) الكائن مسبقاً، والقسم 527، فإن هذا الفصل ينطبق على الأجهزة الموجودة في مواقع معرضة لمخاطر الحريق الناجمة عن طبيعة المواد المعالجة أو المخزنة كالحظائر، مصانع الورق، وصناعة الغزل والنسيج.

لا ينطبق هذا الفصل على المواقع المهددة بخطر الانفجار التي تتناولها BS EN 50014 (راجع الفصل 23 من هذا الكتاب)، أو أجهزة منافذ النجاة أو الطوارئ على سبيل المثال والتي تتناولها BS 5266. يقتضي هذا الفصل بشكل أساسي بأن تكون الأجهزة الكهربائية المعدة للاستخدام في مواقع مختارة ومبنية بحيث تقع درجة حرارتها ضمن شروط العمل الطبيعي، والتي من غير المحتمل أن يسبب أي ارتفاع محسوس في درجة الحرارة، والناتج عن خلل ما، إلى الحريق.

في المواقع المعرضة لخطر حريق قد ينجم عن طبيعة المواد المعالجة أو المخزنة:

- يجب أن تمتلك المعدات الكهربائية درجة الحماية IP5X كحد أدنى.
- إن أنظمة TN و TT (والتي سيتم تعريفها لاحقاً)، باستثناء الأنظمة Mic و Busbar Trunking، يجب حمايتها بواسطة RCD حيث لا يتجاوز $I_{\Delta n}$ القيمة 300 mA.
- يجب أن تكون كل دارة قادرة على الانفصال عن النواقل الحية عن طريق الاتصال بقواطع أو مفاتيح كهربائية.

تنطبق التعليمات على مجال واسع من التجهيزات التي تشمل الكبلات، مجاري قضبان التوصيل، المحركات، المصدرات الضوئية، تجهيزات التسخين والتهوية، القلب وألواح التوزيع.

الأجهزة أو المواقع الخاصة. أثرت هذه التعديلات على الجزء السادس، القسم 601، وقامت بدمج التعديل رقم 3 مع المواصفة BS 7671:1992 في الجسم الرئيسي للمواصفات القياسية (مع التصحيحات والإضافات) والتي تغطي المواقع التي تحوي على حمام (bath) أو دوش (shower).

يغطي القسم 604 الجديد تركيب موقع البناء. وتقوم التعليمات الجديدة 02-01-604 و 03-01-604 بتعريف المواقع التي يمكن تطبيق المتطلبات فيها أو لا، فهي صالحة للتطبيق في:

a. المجموعات التي تشمل على مفاتيح القيادة الكهربائية الرئيسية ووسائل الحماية الرئيسية.

b. التجهيزات على جانب الحمل أعلاه، وتشمل الأجهزة الكهربائية الجوالة والقابلة للتنقل كجزء من الأجهزة المتحركة.

وهي غير صالحة للتطبيق على:

a. مكاتب موقع البناء.

b. التجهيزات المغطاة بواسطة BS 6907 (معدات الحفر المكشوفة ومقالع الحجارة).

هناك منطقة تغيير مهمة تقع في القسم 607 "متطلبات تأريض تركيب الأجهزة ذات تيارات الموصلات الوقائية العالية" وهذا ما قاد للاعتراف بالاستعمال واسع الانتشار لأجهزة تكنولوجيا المعلومات (IT).

النقطة الأولى الجديرة بالملاحظة، هي استعمال التعبير " تيارات الموصلات الوقائية العالية" بدلاً من "تيارات التسرب الأرضية العالية". في حالة أجهزة تكنولوجيا المعلومات لا تنتج تيارات الموصلات الوقائية العالية عن التسرب الأرضي، لكنها ميزة تصميمية تنتج عن الحاجة للتخامد واستخدام مصادر تغذية ذات نمط العمل المتبدل.

يمكن بالطبع أن يكون التأثير نفسه، والتغيرات في القسم 607 تمت على مواضيع متعلقة بشكل خاص بكل من مصنعي العدد والأدوات، ومصنعي معدات الوقاية والتوزيع. حيث أنه في العديد من الحالات يكون التقدم في التصميم والتقانة متباعدا ويقود لردود أفعال غير مرغوبة وإلى خطأ غير مرغوب فيه بالنسبة لأدوات الوقاية والحماية وإلى تكاليف تركيب إضافية.

يسمح هذا التعديل، وربما يشجع على استخدام منافذ مقبس مزدوج في دارات حلقية توفر منافذ مقبس بطرفين أرضيين ونهايتين لناقل الحماية على لوح الفاصم يتم تثبيتها في نهايات طرفية مستقلة عن القضيب الأرضي.

في القسم 611 والمعنون "مصادر تغذية الشوارع العامة، أثاث الشوارع والتجهيزات المتوضعة في الشوارع"، هنالك أيضاً تعديلات على التعليمة 02-02-611 بحيث تتضمن قيوداً على الارتفاع اللازم للوصول إلى التجهيزات الكهربائية. تعبر التعليمات الجديدة 06-02-611 و 02-05-611 عن متطلبات استخدام تجهيزات الصنف II (التي ستعرف لاحقاً) ودرجة الحماية أو الوقاية الدنيا IP33 للأجهزة الكهربائية إما عن طريق البناء أو بطريقة التركيب.

المراقبة الدورية والاختبار: تتعلق هذه التنقيحات بالجزء السابع، وبشكل خاص الفصل 73 "المراقبة الدورية والاختبار"، تم التشديد الكبير على المراقبة الدورية وكتابة التقارير والتي ستتضمن بشكل خاص آلية الاختبار RCDs التي تعتبر من دواعي تعليمات الكهرباء في العمل، وكانت انطلاقتها الأولى عبر BEAMA. تعرف التعليمة 03-01-731 حالياً بأن مدى المراقبة والاختبار لجهاز ما يجب أن يقرر من قبل شخص مؤهل. تسمح التعليمة 02-01-732 بإمكانية استبدال المراقبة الدورية ببرنامج مراقبة/صيانة بسجلات مناسبة.

يتضمن الفصل 74 "الشهادات وكتابة التقارير" التعليمة الجديدة 01-01-743 التي تحتاج إلى جدولة المراقبة ويجب أن تستند التقارير إلى النماذج المعروضة في الملحق 6.

العزل المتصلب واللدن حرارياً: إن استخدام أعداداً متصاعدة وتشكيلة واسعة متنوعة من مواد العزل قاد إلى تشويش تصنيفها حتى اليوم إلى مجموعتين اثنتين: "البلاستيك" (PVC)، والمطاط، وكان في أغلب الأحيان غير واضح بالنسبة لتقدير درجة الحرارة المسموح بها. تم حل ذلك عن طريق تجميع المواد إلى مواد لدنة حرارياً والتي تتضمن PVC والمواد المتصلبة حرارياً والتي تتضمن تلك المواد التي ينظر إليها اليوم كالمطاط.

المواد اللدنة حرارياً هي تلك المواد التي تصبح مطواعة لدى تعرضها للحرارة ويمكن قولبتها وإعادة تشكيلها لأي عدد من المرات، إذاً هي مواد بلاستيكية في طبيعتها. أما المواد المتصلبة حرارياً فهي المواد ذات الارتباط الكيميائي المستعرض، أي حالما يتم تشكيل الرابطة الكيميائية تحت تأثير الحرارة، فإن المادة تتخذ شكلها النهائي. قامت المواد المتصلبة حرارياً بتحسين خصائص بعض المواد اللدنة حرارياً كمقاومة التشوه، ودرجات حرارة التشغيل الأعلى.

الطريقة الجديدة التي أضيفت بها درجة الحرارة المقدرة، أعطت طريقة كلية وواضحة للتصنيف، على سبيل المثال XLPLE البولي إيتلين ذي الروابط المستعرضة لا يعتبر بلاستيك ولا مطاط، ولكنه مادة متصلبة حرارياً عند درجة حرارة مقدرة 90°C .

مبدئياً، بعد التغيير ستقدم المصطلحات القديمة ضمن أقواس تتبع التصنيف الجديد، أي "مادة لدنة حرارياً" (PVC) و"مادة متصلبة حرارياً" (المطاط).

تفاصيل التعليمات BS 7671:2001

تم الأخذ بعين الاعتبار في الطبعة الجديدة الأساس التقني للاتفاقية التي تم الوصول إليها في CENELEC، أضف إلى ذلك، أخذت بعين الاعتبار الأهداف التقنية لوثائق التوافق لـــ CENELEC التالية:

مصدر وثيقة التوافق CENELEC		جزء التعليمة
HD 193	حزم الجهد	الجزء 1 والتعاريف
HD 384.1	المدى، العناصر والمبادئ الأساسية	الجزء 1
HD 384.2	تعاريف	الجزء 2
HD 384.3	تقييم الخصائص العامة	الجزء 3
HD 384.4.41	الحماية ضد الصدمة الكهربائية	الجزء 4، الفصل 41
HD 384.4.42	الحماية ضد الآثار الحرارية	الجزء 4، الفصل 42
HD 384.4.43	الحماية ضد التيارات الزائدة	الجزء 4، الفصل 43
HD 384.4.443	الحماية ضد الجهود الزائدة ذات المنشأ الجوي أو بسبب تشغيل المفاتيح	الجزء 4، القسم 445
HD 384.4.45	الحماية ضد الجهود المنخفضة	الجزء 4، الفصل 45
HD 384.4.46	العزل وتشغيل المفاتيح	الجزء 4، الفصل 46
HD 384.4.47	تطبيق إجراءات الحماية ضد الصدمة الكهربائية	الجزء 4، القسم 470

مصدر وثيقة التوافق CENELEC		جزء التعليمة
HD 384.4.473	تطبيق إجراءات الحماية ضد التيارات الزائدة	الجزء 4، القسم 473
HD 384.4.482	الحماية ضد تواجد أخطار الحرائق الخاصة	الجزء 4، القسم 482
HD 384.5.51	اختيار وتنصيب المعدات، قواعد عامة	الجزء 5، الفصل 51
HD 384.5.52	أنظمة توزيع الأسلاك	الجزء 5، الفصل 52 والملحق 4
HD 384.5.523	أنظمة توزيع الأسلاك ، سعات حمل التيار	الجزء 5، القسم 523 والملحق 4
HD 384.5.537	لوحة مفاتيح القيادة الكهربائية ومسننات التحكم، وسائط العزل وتشغيل المفاتيح	الجزء 5، القسم 537
HD 384.5.54	ترتيبات التأريض والموصلات الوقائية	الجزء 5، الفصل 54
HD 384.5.551	أجهزة أخرى، مجموعات توليد الجهد المنخفض	الجزء 5، القسم 551
HD 384.5.56	خدمات الأمان	الجزء 5، الفصل 56
HD 384.6.61	التحقق الأولي	الجزء 7، الفصل 71
HD 384.7.702	المواقع الخاصة – حمامات السباحة	الجزء 6، القسم 602
HD 384.7.703	المواقع الخاصة – المواقع الحاوية على الهواء الساخن، مسخنات الساونا	الجزء 6، القسم 603
HD 384.7.704	البناء والهدم الذي يحدد موقع التجهيزات	الجزء 6، القسم 604
HD 384.7.705	المواقع الخاصة – المباني الزراعية والبستانية	الجزء 6، القسم 605
HD 384.7.706	المواقع الخاصة – مواقع النقل المقيدة	الجزء 6، القسم 606
HD 384.7.708	المواقع الخاصة – المنتزهات والمقطورات	الجزء 6، القسم 608
HD 384.7.714	تجهيزات الإضاءة في الهواء الطلق	الجزء 6، القسم 611

وضعت إشارة كبيرة خلال التعليمات لمنشورات معهد المعايير القياسية البريطاني لكل من المواصفات وقواعد الممارسة.

يدرج الملحق الأول للتعليمات هذه المنشورات ويعطي عناوينها الكاملة، بينما تتم الإشارة إليها في كافة أنحاء التعليمات فقط عن طريق أرقامها. ما يقارب 12 صفحة متضمنة تشمل على 110 معيار بريطاني مختلف، ويكون ظهورها بارز أيضاً في التعليمات حيث الإشارة للمعيار البريطاني في التعليمات، ويأخذ المعيار البريطاني المعالج الوثيقة الموافقة CENELEC بعين الاعتبار، حيث يفهم أن الإشارة يجب أن تقرأ بشكل متعلق أيضاً بأي معيار أجنبي مشابه مستند إلى الوثيقة الموافقة مع التأكد بأن أي اختلاف بين المعيارين لا يؤدي إلى درجة أمان أقل من ذلك الذي يضمنه الالتزام بالمعيار البريطاني. (راجع القسم 511 من التعليمات).

يجب أن يتم تحقق مشابه في حالة المعيار الأجنبي المستند للمعيار IEC ولكن من غير الضروري إدراج الخلافات المحلية كمعايير ويجب بذل اهتمام خاص لذلك. في بعض الحالات، قد تتطلب التعليمات إلحاقها بالتوصيات اللازمة للمعايير البريطانية أو للشخص المسؤول عن العمل. تتضمن التركيبات المسقطة في هذه المجموعة الإضاءة الطارئة BS 5266 ، التجهيزات في الأجواء الانفجارية BS 5345 ، وأنظمة الحماية ضد الحريق وأنظمة الإنذار في المباني BS 5839. وتتضمن بعض الحالات الأخرى أجهزة متعلقة بالاتصالات BS 6701 part 1 وأنظمة تسخين السطوح كهربائياً BS 6351. لا تنطبق التعليمات على عشر أنواع مختلفة من التجهيزات وهي مدرجة في BS 7671 وتشمل تجهيزات جر السكك الحديدية وتجهيزات السفن والمحطات البحرية العائمة الثابتة والمتحركة.

مجالات الجهد: يتم تغطية الأجهزة العاملة عند المستويات الآتية:

a. الجهد المنخفض جداً – عادةً لا يزيد عن 50 V متناوب أو 120 V لموجة مستمرة حرة سواء بين النواقل أو إلى الأرض.

b. الجهد المنخفض – عادةً يتجاوز الجهد المنخفض جداً ولكن لا يتعدى 100 V a.c أو 1500 V d.c بين النواقل أو 600 V a.c أو 900 V d.c بين النواقل والأرضي.

التجهيزات: تطبق التعليمات على عناصر التجهيزات الكهربائية فقط بقدر ما يتم اختبار وتطبيق الأجهزة في المنشأة المعنية، وهي لا تتعامل مع المتطلبات في بنية المجموعات المجهزة للأدوات الكهربائية والضرورية لتتوافق مع المواصفات المناسبة.

محتوى التعليمات

الجزء 1	المجال، الهدف والمبادئ الأساسية
الفصل 11	المجال
الفصل 12	الهدف والتأثيرات
الفصل 13	المبادئ الأساسية
الجزء 2	تعاريف
الجزء 3	تقييم الخصائص العامة
الفصل 31	الغاية، التغذيات والبنية
الفصل 32	التأثيرات الخارجية
الفصل 33	التوافقية
الفصل 34	قابلية الصيانة
الجزء 4	الحماية للأمان
الفصل 41	الحماية من الصدمة الكهربائية
الفصل 42	الحماية من الآثار الحرارية
الفصل 43	الحماية من ارتفاع التيار
الفصل 44	الحماية من ارتفاع الجهد
الفصل 45	الحماية من انخفاض الجهد
الفصل 46	العزل والتحويل
الفصل 47	تطبيق إجراءات الحماية للأمان
الفصل 48	اختيار إجراءات الأمان كتابع للمؤثرات الخارجية

الجزء 5 اختيار وتركيب المعدات

الفصل 51 قواعد عامة

الفصل 52 اختيار وبناء نظام التمديدات

الفصل 53 مجموعة المفاتيح الكهربائية (للحماية والعزل والتحويل)

الفصل 54 أنظمة التأريض وحماية النواقل

الفصل 55 معدات أخرى

الفصل 56 التغذيات لخدمات الأمان

الجزء 6 أجهزة أو مواقع خاصة

القسم 601 المواقع الحاوية على حمام أو دوش

القسم 602 أحواض السباحة

القسم 603 حمامات الساونا ذات الهواء الساخن

القسم 604 أجهزة مواقع البناء

القسم 605 المواقع الزراعية أو البساتين

القسم 606 مواقع النواقل المقيدة

القسم 607 متطلبات التأريض لتركيب المعدات ذات تيارات النواقل بالحماية العالية

القسم 608 المقطع الأول- الأجهزة الكهربائية في القوافل والعربات المتنقلة
المقطع الثاني - الأجهزة الكهربائية في مواقف القوافل

القسم 609 مخصص لأحواض السفن

القسم 610 مخصص للأغراض المستقبلية

القسم 611 أجهزة التغذية الكهربائية للطرق السريعة، معدات الشوارع، معدات الشوارع المحددة

الجزء 7 المراقبة والاختبار

الفصل 71 التحقق الأولي

الفصل 72 التغيرات والإضافات على الجهاز

الفصل 73 المراقبة الدورية والفحص الدوري

الفصل 74 المطابقة وكتابة التقرير

ملاحق

1 المعايير البريطانية المرعية في التعليمات

2 التعليمات القانونية والمذكرات ذات الصلة

3 مواصفات الزمن/التيار لوسائط الحماية من ارتفاع التيار

4 سعة التيار الحامل وهبوط جهد الكبلات والأسلاك المرنة

5 تصنيف المؤثرات الخارجية

6 الأشكال النموذجية لشهادات المطابقة والتقارير

الجزء 1. المجال، الهدف والمبادئ الأساسية

تمت مناقشة هذا الموضوع سابقاً تحت العنوان "التغييرات أو التعديلات الطارئة على النسخة 2001".

الجزء 2. تعاريف

تتضمن هذه التعليمات عدداً من التعاريف المدرج البعض منها هنا. حيث لم يتم إدراج التعاريف المألوفة والمعروفة من قبل العاملين في الحقل الكهربائي. تشير التعاريف الواردة هنا إلى المعنى المتداول والمستخدم في التعليمات. البعض من هذه التعاريف متوافق مع تلك الواردة في BS 4727 "مسرد للمصطلحات أو التعابير التقنية الكهربائية، الطاقة، الاتصالات، الإلكترونيات، الإضاءة والألوان". هناك البعض من المصطلحات الأخرى غير المعرفة في التعليمات وتستخدم بالمعنى المعرفة به من قبل المعايير البريطانية.

وصول الذراع **Arm's reach**: منطقة قابلية الوصول عن طريق اللمس، تمتد من أي نقطة على السطح حيث يقف أو يتحرك الفرد حولها، إلى الحدود التي تمكن الفرد

من الوصول إليها باليد وفق أي اتجاه دون مساعدة. هناك ثلاثة مخططات توضح منطقة الوصول في هذه التعليمات.

الحاجز Barrier: جزء يوفر درجة حماية محددة من التماس بالأجزاء الحية، من جهة وصول معتادة.

العزل الأساسي Basic insulation: وهو العزل المطبق على الأجزاء الحية لتأمين حماية أساسية من الصدمة الكهربائية والتي ليس من الضروري أن تتضمن عزل يستخدم بشكل خاص للأغراض الوظيفية.

ناقل التوصيل الأرضي Bonding conductor: ناقل حماية يؤمن توصيل أرضي متكافئ الجهد.

مسلك الكبل Cable duking: غلاف من المعدن أو أية مادة عازلة غير مجاري السلك، يراد به حماية الكبلات المسحوبة بعد مدها ضمن المجاري.

مجاري الكبل Cable trunking : وهي عادةً غلاف مغلق بمقطع مستطيل يكون أحد جوانبه قابل للإزالة أو التمحور، يستخدم لحماية الكبلات واحتواء الأجهزة الكهربائية الأخرى.

الدارة Circuit: عبارة عن مجموعة من العناصر أو التجهيزات الكهربائية التي تتغذى من نفس المصدر وتكون محمية ضد الزيادة المفرطة للتيار عبر نفس الأدوات الوقائية.

ناقل الدارة الوقائي Circuit protective conductor (CPC): عبارة عن ناقل يربط الأجزاء الناقلة المكشوفة من الجهاز إلى النهاية الأرضية الرئيسية.

أجهزة الصنف الأول Class I equipment: وهي الأجهزة التي لا تعتمد فيها الحماية من الصدمة الكهربائية على العزل الأساسي فقط، بل تشمل على وسائط الأجزاء الناقلة المكشوفة إلى الموصل الوقائي في توزيع الأسلاك (التمديد) الثابت للعزل (راجع BS 2754).

أجهزة الصنف الثاني Class II equipment: وهي الأجهزة التي لا تعتمد فيها الحماية من الصدمة الكهربائية على العزل الأساسي فقط، بل توفر تدابير احترازية إضافية للأمان

كالعزل المتمم، حيث لا تكون هناك أية ترتيبات مسبقة لوصل أجزاء الجهاز المعدنية المكشوفة إلى الموصل الوقائي، ولا يوجد اعتماد على الإجراءات الوقائية المعتمدة في توزيع الأسلاك الثابت للتمديدات.

أجهزة الصنف الثالث Class III equipment: وهي الأجهزة التي تعتمد فيها الحماية من الصدمة الكهربائية على التغذية عند SELV والتي لا تتولد فيها جهود أعلى من الجهود المتولدة في SELV، (راجع BS 2754).

العزل المضاعف Double insulation: وهو العزل الذي يشمل كل من العزل الأساسي والإضافي.

نظام الأسلاك المحوري المؤرض Earth concentric wiring: وهو نظام أسلاك يحاط فيه واحد أو أكثر من النواقل بشكل كامل وعلى كامل طوله بمادة ناقلة، على سبيل المثال الغمد المعدني والذي يؤثر كناقل PEN.

المنشأة الكهربائية Electrical Installation: (المنشأة اختصاراً) وهي عبارة عن مجموعة من الأجهزة الكهربائية المتصلة فيما بينها والتي تتغذى من مصدر مشترك لإنجاز مهام محددة وتمتلك مواصفات متناسقة معينة.

الجزء الناقل الخارجي Extraneous-conductive Part: وهو جزء ناقل مسؤول عن تأمين جهد (كمون) ما، عادةً الكمون الأرضي، ولا يشكل جزءاً من المنشأة الكهربائية.

الدارة النهائية Final Circuit: دارة تتصل مباشرةً إلى الجهاز الذي يستمد التيار، أو منافذ المقابس أو أي منافذ أخرى للوصل مع أجهزة أخرى مماثلة.

العزل Isolation: وظيفة معدة لفصل، لدواعي الأمان، التغذية من كل المنشأة أو من جزء منها عن طريق فصل المنشأة أو ذاك الجزء عن كل مصادر الطاقة الكهربائية.

الناقل الحيادي Neutral conductor: ناقل يوصل إلى نقطة حيادي النظام ويساهم في نقل الطاقة الكهربائية. هذا المصطلح يعني كذلك الناقل المكافئ لنظام IT أو تيار مستمر ما لم يحدد عكس ذلك في التعليمات.

الناقل PEN (PEN conductor): ناقل يجمع مهام كلاً من الناقل الحيادي والناقل الوقائي (ناقل الحماية).

الناقل الوقائي Protective conductor: ناقل يستخدم من أجل بعض تدابير الحماية ضد الصدمة الكهربائية ويستخدم بقصد وصل أي من الأجزاء التالية مع بعضها البعض:

a. الأجزاء الناقلة المكشوفة.

b. الأجزاء الناقلة الخارجية.

c. نهاية الأرضي الرئيسي.

d. قطب أو أقطاب الأرضي.

e. النقطة المؤرضة للمصدر أو الحيادي الصناعي.

يظهر مخطط في الصفحة (25) من التعليمات مثالاً عن أنظمة تأريض ونواقل وقائية.

العزل المدعم Reinforced insulation: عزل مفرد يطبق على الأجزاء الحية التي تؤمن درجة من الحماية ضد الصدمة الكهربائية وهو يكافئ العزل المزدوج ضمن الشروط التي تحددها المعايير القياسية ذات الصلة. لا يعني تعبير "العزل المفرد" ضمناً أن العزل يجب أن يكون كتلة واحدة متجانسة، فقد يشمل عدة طبقات لا يمكن اختبارها بشكل إفرادي كالعزل التكميلي أو الأساسي.

أداة التيار المتبقي Residual current device: أداة تبديل ميكانيكية أو مجموعة من الأدوات المعدة لتسبب الفتح والتماس عند بلوغ التيار الحالي قيمة معطاة تحت شروط محددة.

تيار التشغيل المتبقي Residual operating current: التيار المتبقي الذي يسبب تشغيل أداة التيار المتبقي تحت شروط معينة.

الدارة النهائية الحلقية Ring final circuit: دارة نهائية مرتبة على شكل حلقة يتم وصلها إلى نقطة تغذية وحيدة.

الأجزاء القابلة للوصول الآني Simultaneously accessible parts: النواقل أو الأجزاء الناقلة التي يمكن للمرء ملامستها، أو من قبل المواشي في بعض الأماكن المحددة لهم. قد تتمثل هذه الأجزاء في الأجزاء الحية، الأجزاء الناقلة المكشوفة والأجزاء الناقلة الخارجية ونواقل الحماية والأقطاب الأرضية.

الشخص الماهر Skilled person: وهو الشخص الذي يمتلك المعرفة التقنية أو التجربة الفنية الكافية التي تمكنه أو تمكنها من تجنب الأضرار التي قد تحدثها الكهرباء.

الأجهزة الثابتة Stationary equipment: وهي الأجهزة المثبتة أو الأجهزة ذات الكتلة التي لا تتجاوز 18 kg وغير المزودة بمقابض للحمل.

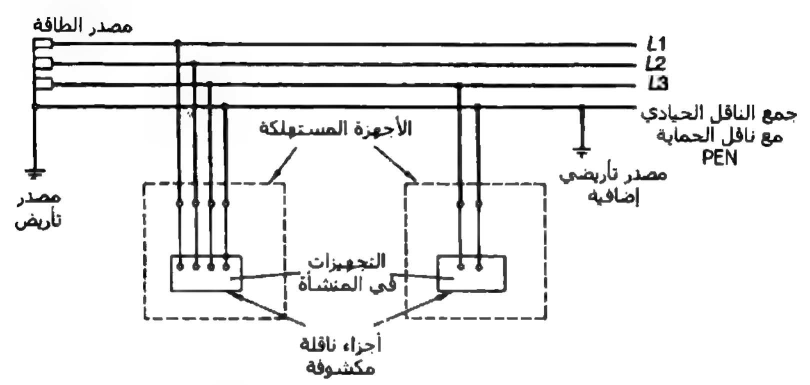
العزل الإضافي Supplementary insulation: عزل مستقل يطبق بشكل إضافي للعزل الأساسي بغية تأمين الحماية ضد الصدمة الكهربائية في حال حدوث ضرر للعزل الأساسي.

المفتاح Switch: أداة ميكانيكية قادرة على وصل، وتحمل، وفصل التيار في شروط الدارة العادية، وقد يتضمن شروط تشغيل تحميل زائد محددة، وكذلك حمل التيارات لفترة محددة في شروط الدارة غير الاعتيادية مثل دارة القصر. وقد يكون قادراً كذلك على الوصل وليس الفصل بالنسبة لتيارات الدارة القصيرة.

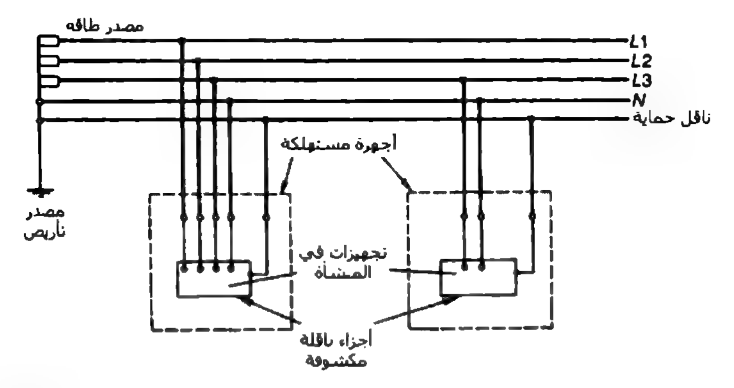
مجموعة المفاتيح الكهربائية Switchgear: مجموعة من أجهزة التحويل المساعدة والرئيسية للتشغيل، للتنظيم، للحماية أو للتحكم بأمور أخرى لمنشأة كهربائية ما.

النظام System: يتكون نظام كهربائي ما من مصدر واحد للتغذية بالطاقة الكهربائية والمنشأة لأهداف معينة للتنظيم، تعرف أنواع من الأنظمة كما يلي، اعتماداً على علاقة المصدر والأجزاء الناقلة المكشوفة للمنشأة إلى الأرضي:

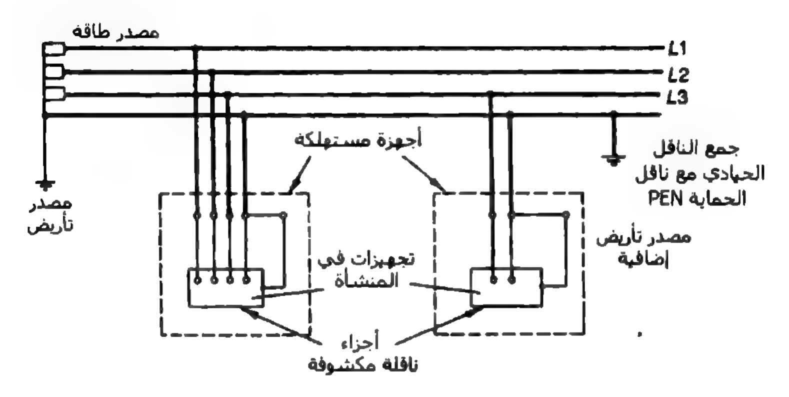
- **النظام TN**: نظام يمتلك نقطة أو أكثر لمصدر الطاقة المؤرض مباشرة، الأجزاء الناقلة المكشوفة تكون مرتبطة (موصولة) إلى تلك النقطة عبر نواقل حماية.
- **النظام TN-C**: النظام الذي يكون فيه الحيادي و وظائف الحماية مركبة ضمن ناقل واحد في كامل النظام، الشكل (12.1).



الشكل (12.1) النظام TN-C: تجمع وظائف الحماية والحيادي في ناقل واحد في كامل النظام. وجميع الأجزاء الناقلة المكشوفة لمنشأة ما توصل إلى الناقل PEN. مثال على منظومة TN-C هو نظام الأسلاك المحورية الأرضية، ولكن حيثما يكون هناك ميل لاستخدامها، يجب الحصول على رخصة خاصة من السلطات المعنية.

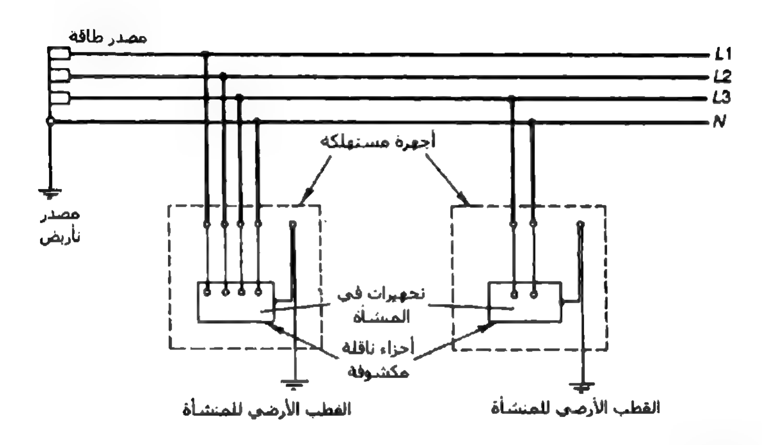


الشكل (12.2) النظام TN-S: فصل الناقل الحيادي ونواقل الحماية في كل النظام. ناقل الحماية (PE) هو الغطاء المعدني للكبل الذي يزود المنشآت أو الناقل المستقل. جميع الأجزاء الناقلة المكشوفة للمنشأة توصل إلى ناقل الحماية ذاك عبر النهاية الطرفية الأرضية الرئيسية للمنشأة.



الشكل (12.3) النظام TN-C-S: تجمع وظائف الحيادي والحماية ضمن ناقل واحد في جزء معين من النظام. الشكل المعتاد لنظام TN-C-S هو كما نشاهد، حيث تكون التغذية هي TN-C والمنظومة في المنشأة هي TN-S. يعرف هذا النوع من التوزيع أيضاً بناقل الحماية متعدد التأريض والناقل (PEN) يشير إليه مثل الناقل (CNE) الذي بجمع الحيادي مع الأرضي. يتم تأريض نظام تغذية الناقل (PEN) في العديد من النقاط وقد يكون القطب الأرضي ضرورياً عند أو بالقرب من الجهاز المستهلك. جميع الأجزاء الناقلة المكشوفة للمنشأة أو للجهاز توصل إلى الناقل (PEN) عبر نهاية التأريض الرئيسي ونهاية الحيادي. هذه النهايات قد تكون مرتبطة مع بعضها البعض.

- **النظام TN-S**: نظام يمتلك حيادي مستقل ونواقل حماية في كامل النظام، الشكل (12.2).
- **النظام TN-C-S**: النظام الذي فيه وظائف الحيادي والحماية مركبة في ناقل واحد في النظام، الشكل (12.3).
- **النظام TT**: نظام يمتلك نقطة واحدة لمصدر الطاقة المؤرضة مباشرةً، تكون الأجزاء الناقلة المكشوفة للمنشأة موصولة إلى أقطاب الأرضي كهربائياً بشكل مستقل عن أقطاب الأرضي للمصدر الشكل (12.4).



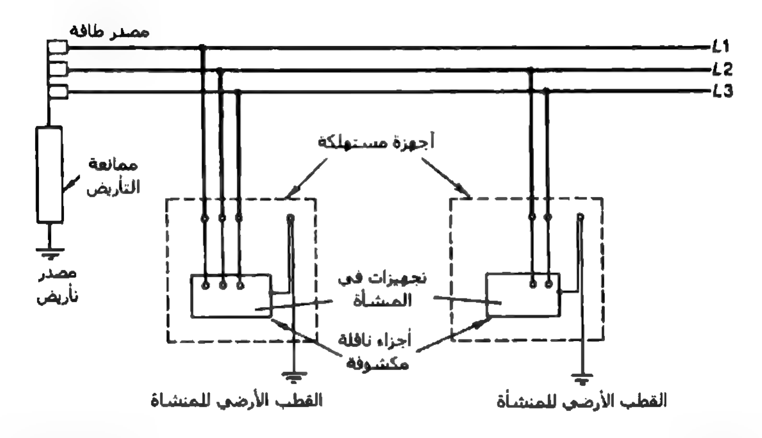
الشكل (12.4) النظام TT: يتم وصل كل الأجزاء الناقلة المكشوفة للجهاز إلى القطب الأرضي والمستقل كهربائياً عن مصدر الأرضي.

- **النظام IT**: نظام لا يمتلك وصل مباشر بين الأجزاء الحية والأرضي، وتكون الأجزاء الناقلة المكشوفة للمنشأة الكهربائية مؤرضة الشكل (12.5).

الجزء 3. تقييم الخصائص العامة

يتضمن الجزء الثالث من التعليمات "تقييم الخصائص العامة" في الفصل (31) الأهداف التي صممت من أجلها الأجهزة والتغذيات والبنية، أما الفصل (32) فيتناول المؤثرات الخارجية التي تتعرض لها، ويعنى الفصل (33) بتوافقية الأجهزة، وأخيراً يتحدث الفصل (34) عن قابلة الصيانة.

المطلب الأقصى Maximum demand: يعبر عن المطلب الأقصى للمنشأة عن طريق الأمبيرات الواجب تحديدها. وعند إجراء ذلك يجب أن يؤخذ بالحسبان تنوع الأجهزة .(Reg. 311-01-01)



الشكل (12.5) النظام IT: جميع الأجزاء الناقلة المكشوفة للجهاز ترتبط إلى القطب الأرضي. إما أن يكون المصدر متصلاً بالأرضي من خلال ممانعة تأريض موضوعة بشكل متعمد أو أن يكون معزولاً عن الأرضي.

النواقل الحية والتأريض Live conductors and earthing: يتحكم عدد النواقل الحية وأنواعها وكذلك طريقة التأريض (والتي تعتمد على نوع النظام TN-C، TN-S، TN-C-S، TT و IT) بطريقة الحماية لأجل السلامة والمعتمدة بغية الخضوع للجزء الرابع من التعليمات (Reg. 312-01-01).

طبيعة التغذية Nature of supply: تعود للقيم الاسمية لكل من الجهد، التيار، التردد، تيار الحماية من دارة القصر في المنشأة الأصل، ممانعة العطل الأرضي (Z_0) لذلك الجزء من النظام خارج المنشأة، ملاءمة المنشأة بهدف تحقيق المتطلبات بما فيها المطلب الأقصى، وطبيعة أداة الحماية المؤثرة على المنشأة الأصل (Reg. 313-01-01). يعالج القسم 313-02 متطلبات خدمات الأمان والمهام الاحتياطية.

تنظيم الدارة Circuit arrangements: يجب تقسيم أي منشأة إلى عدد من الدارات، حسب الضرورة، لاجتناب الخطر وتخفيض عدم التناسب في حال وقوع الخلل إلى حدوده الدنيا، ولتسهيل آليات الأمان والمراقبة والاختبار والصيانة (Reg. 314-01-01). كذلك راجع التعليمات 314 الأخرى.

التوافقية Compatibility: يجب على الجهة الموردة أو المزودة القيام باختبار إمكانية امتلاك المنشأة أو المعدات الأخرى أية آثار ضارة مع المعدات الكهربائية الأخرى أو أية خدمات أخرى. فمن أجل منشأة تتزود من مصدر خارجي يجب استشارة المزود حول تجهيزات المنشأة التي قد يكون لتشغيلها آثاراً ما على المنشأة.

عندما تشمل أي منشأة على أكثر من دارة نهائية واحدة، فيجب وصل كل دارة بشكل أو بطريقة مستقلة عن الدارات الأخرى في لوحة التوزيع الأساسية. ويجب أن يتم فصل التمديدات الكهربائيـــة لكل دارة نهائيـــة عن الدارات النهائية الأخرى بغية الوقاية من التغذية غير المباشرة للدارة النهائية المرغوب عزلها (Reg. 314-01-04).

تقتضي متطلبات النسخة السادسة عشرة القيام بتقييم تردد ونوعية الصيانة للمنشأة المزمع تطبيقها أثناء فترة الصلاحية المتوقعة، وينطوي هذا على ترجيح ضرورة المراقبة الدورية، الاختبار، الصيانة والإصلاح خلال دورة حياة المنشأة المعتبرة وأن تتم هذه المناشط بشكل آمن ويسير.

يجب كذلك أن تتمتع تدابير الحماية من أجل السلامة بالفعالية ويجب أن تكون معدات المهام الاسمية ذات وثوقية مناسبة (Reg. 341-01-01).

الجزء 4. الحماية بغرض توفير الأمان

يجب أن تراعي المنشأة، سواء بكاملها أو بأجزائها المتعددة، متطلبات الجزء الرابع من التعليمات عبر تطبيق التدابير الوقائية التي تلخصها الفصول من (41) حتى (46) وفق الأسلوب المشروح في الفصل (47). يجب أن تزود الحماية أو الوقاية ضد التماس المباشر و غير المباشر من خلال إحدى الطرق التالية:

a. الوقاية عن طريق الجهد الآمن المنخفض جداً (Regs. 411-02 & 471-02).

b. الوقاية عن طريق الحد من تفريغ الطاقة (Regs. 411-04 & 471-03).

لن يستخـــدم الجهد الوظيفي المنخفض جداً كأحد التدابيـــر الوقائية (انظر Reg. 471-15).

إن مصدر التزود بالجهد الآمن المنخفض جداً يمكن أن يكون واحداً مما يلي: (a) محولة معزولة متوافقة مع BS 3535، بحيث لا تحوي أي اتصال بين ملفات الخرج والهيكل أو دارة التأريض الوقائية، أو (b) مصدر للتيار مثل المولد المحرك المزود بملفات تقوم بتأمين الفصل الكهربائي المكافئ لذلك المحدد عن طريق المحولة الآمنة المعزولة في (a) أعلاه، أو (c) مصدر إلكتروميكانيكي، أي، بطارية أو أي مصدر مستقل عن الجهد العالي للدارة، وبمعنى آخر، مولد مقاد بواسطة محرك، أو (d) وسائط إلكترونية متوافقة مع معايير مناسبة حيث اتخذت التدابير الكفيلة في حالة العطل الداخلي بعدم تجاوز الجهود في نهايات الخرج للقيمة المحددة في التعليمة 411-02-01. ويمكن السماح بالجهود الأعلى في طرفيات الخرج تحت شروط محددة.

ستكون الأجزاء الحية لمعدات الجهد الآمن المنخفض جداً، فيما عدا الكبلات، مستقلة كهربائياً عن تلك المعدات ذات الجهد الأعلى، والأخرى لن تكون مرتبطة بالأرضي أو مع الأجزاء الحية أو النواقل الوقائية المشكلة لجزء آخر للمنظومة (Reg. 411-02-05). من المفضل أن تكون نواقل الدارة في هذه المنشأة مفصولة فيزيائياً عن نواقل أي دارة أخرى. وقد أعدت بنود لذلك عندما لا يكون ذلك قابل للتطبيق عملياً (Reg. 411-02-06) . والمآخذ غير قادرة على الاتصال مع مخارج المقابس لأنظمة الجهد الأخرى الموضوعة في الاستخدام في نفس العقار. وبشكل مشابه، يجب استثناء أية مآخذ من منافذ المقابس لأنظمة الجهد الأخرى وألا تمتلك منافذ المقابس هذه أي نواقل تماس وقائية (Reg. 411-02-10).

عندما يتجاوز الجهد المنتج الاسمي للنظام SELV القيمة 25 V مستمر بتردد 50 Hz أو 60 V بدون تموج، عندئـــذ يتم تحديـــد حمايـــة إضافيـــة ضد التماس المباشر (Reg. 411-02-09). عند توقع انخفاض مقاومة الجسم أو حيث يبرز زيادة لخطر الصدمة الكهربائية عن طريق التماس مع الكمون الأرضي يتم تطبيق التعليمات الموصوفة سابقاً (Rge. 471-15 & 471-16). يمكن توقع مثل هذه الظروف في الحالات التي قد تكون فيها الأيدي و/أو الأرجل مبللة، أو حيث لا يكون مسار تيار الصدمة ضمن حدوده القصوى، أو حيث يكون المرء غاطساً في المياه أو يعمل في مواقع ناقلة محصورة.

حيث يتم استخدام الجهد المنخفض جداً ولكن لا تلبي جميع متطلبات أمان الجهد المنخفض جداً، تطبق تدابير ملائمة موجزة (Reg. 471-14) بغية تأمين الحماية، غير أن الأنظمة التي لا تعتمد هذه التدابير تدعى "أنظمة الجهد المنخفض جداً الوظيفية" أو أنظمة FELV. عندما تتوافق أنظمة الجهد المنخفض جداً مع متطلبات (Reg 411-02) للأنظمة SELV فيما عدا كون الدارات مؤرضة إلى نقطة واحدة، فإنه يتم تطبيق حماية ضد التماس المباشر إما عن طريق (a) حواجز أو أغلفة توفر درجة من الحماية أقلها الدرجة IP2X أو IPXXB، أو (b) كبلات معزولة تتحمل اختبار الجهد بقيمة 500 V ولمدة 60 s (Reg. 471-14-02).

بشكل عام إذا لم يكن هناك توافق لأنظمة الجهد المنخفض جداً مع متطلبات الأمان، فإنه يتم تطبيق إجراءات حماية ضد التماسُ المباشر عبر حواجز أو أغلفة أو عن طريق العزل اعتماداً على اختبار الجهد الأدنى للدارة الأولية. وهناك حاجة أيضاً للحماية من التماس المباشر (Reg. 471-14-03). تعتمد الدارات على الحماية من الصدمة الكهربائية عن طريق تفريغ (إطلاق) الطاقة، الطريقة (a)، وسوف يتم فصلها عن الدارات الأخرى بطريقة مشابهة لتلك المحددة والمتعلقة بدارات أمان الجهد المنخفض جداً (Regs. 411-02-05 & 411-02-06).

التماس المباشر: يمكن اللجوء إلى أحد التدابير الوقائية التالية للحماية من التماس المباشر:

a. الوقاية عن طريق عزل الأجزاء الحية (Regs. 412-02 & 471-04).

b. الوقاية عن طريق حاجز أو واق (Regs. 412-03 & 471-05).

c. الوقاية عن طريق الموانع (Regs. 412-04 & 471-06).

d. الوقاية عن طريق التوضع بعيداً عن المتناول (Regs. 412-05 & 471-07).

عند حماية الأجزاء الحية من التماس المباشر عن طريق العزل فيجب أن تكون بحيث لا يمكن إزالتها إلا عن طريق تدميرها ويجب أن تكون قادرة على تحمل الجهود الكهربائية والميكانيكية والحرارية التي قد تتعرض لها أثناء الخدمة (Reg. 412-02-01). أما إذا تم استخدام الحاجز أو الواقي لمنع التماس المباشر وكانت الفتحة أكبر من

تلك المسموح بها بواسطة IP2X، عندئذ يجب اتخاذ تدابير احترازية لتجنيب الأشخاص أو الماشية عملية التماس غير المتعمّد للأجزاء الحية.

يمكن للحماية كذلك أن تتوفر عن طريق الموانع، غير أنها يجب أن تثبت بالبراغي بطريقة تجنب إزالتها بشكل غير مقصود ولكن يمكن أن تزال دون الحاجة لأي مفتاح أو أداة.

التماس غير المباشر: هناك خمسة تدابير وقائية أساسية ضد التماس غير المباشر في التعليمات ويجب اعتماد واحدة أو أكثر.

a. التوصيل الأرضي متساوي الكمون وفصل التغذية الآلي (Regs. 413-02 & 471-08).

b. استخدام معدات أو تجهيزات الصنف II أو العزل المكافئ (Reg. 413-03 & 471-09).

c. المواقع غير الناقلة (Regs. 413-05 & 471-11).

d. التوصيل الأرضي متساوي الكمون ولا يحوي الأرضي (Regs. 413-05 & 471-11).

e. الفصل الكهربائي (Regs. 413-06 & 471-12).

عند استعمال الطريقة (a)، يتم ربط نواقل التوصيل الأرضي إلى خط التأريض الرئيسي للأجزاء الناقلة الدخيلة بما فيها: أنابيب المياه والغاز الرئيسية، أنابيب ومجاري الخدمات الأخرى، أنظمة التدفئة المركزية وتكييف الهواء، الأجزاء المعدنية المكشوفة من هيكل البناء ونظام الإنارة الوقائي. قد يحتاج التوصيل الأرضي للأعمال المعدنية المرتبطة بخدمات أخرى رخصة يتم الحصول عليها من المتعهد المسؤول. من الضروري إجراء التوصيل الأرضي لأي غمد معدني لكبلات الاتصالات، على كل حال يجب الحصول على موافقة المالك لإجراء كل ذلك. عندما تقوم منشأة أو جهاز ما بتقديم الخدمة لأكثر من مبنى واحد فإن متطلبات التوصيل الأرضي يجب أن تطبق على كل مبنى (Reg. 413-02-02).

تقدم التعليمات تفاصيل مهمة لطرق الحماية عن طريق التوصيل الأرضي متساوي الكمون والفصل الآلي للتغذية لثلاثة أنواع من التأريض، أي أنظمة TN، TT، و IT. التطبيق المتداول في بريطانيا يستخدم نظام التأريض TN بإحدى صوره الثلاث:

(a) TN-C حيث يتم تجميع وظائف الحيادي والحماية في ناقل وحيد في كافة أنحاء النظام، (b) TN-S حيث يتم فصل نواقل الحيادي والحماية في كافة أنحاء النظام و (c) TN-C-S حيث يتم تجميع وظائف النواقل الاثنتين في ناقل واحد في جزء من النظام.

يحتوي القسم 413 من التعليمات على عدد من الجداول المتعلقة بالحماية والتي يجب على القارئ العودة إليها. تعتبر التعليمة (Reg. 413-02-04) مقنعة عندما تكون خصائص كل أداة حماية وممانعة حلقة العطل الأرضي لكل دارة محمية بها تسمح بفصلها آلياً خلال زمن محدد عند وقوع عطل بممانعة مهملة بين ناقل الطور وناقل الحماية أو يتم كشف جزء من ناقل في مكان ما من المنشأة. تتحقق هذه المتطلبات عندما:

$$Zs \leq Uo / Ia$$

حيث

Z_s = ممانعة حلقة العطل الأرضي.

I_a = التيار الذي يسبب العمل الآلي لفصل أداة الحماية ضمن زمن مبين في الجدول 41A (من التعليمات) كتابع للجهد الاسمي U_0 أو تحت الشروط المبينة في التعليمات 413-02-12 و 413-02-13 ضمن زمن لا يتجاوز 5s.

U_0 = الجهد الاسمي بالنسبة للأرضي.

الجزء 5. اختيار واستبعاد التجهيزات

قواعد مشتركة (عامة): يغطي الفصل (51) القواعد العامة التي يمكن تطبيقها على عملية اختيار الأجهزة. يجب أن يتوافق كل جزء من الجهاز مع متطلبات المواصفات القياسية البريطانية قيد التطبيق، أو المعايير الموافقة. عند استخدام جهاز بمواصفات قياسية أجنبية، تكمن مسؤولية الشخص الذي يقوم بتصميم أو تركيب الجهاز في التأكد من أن مستوى الأمان الذي يوفره هذا الجهاز لن يكون أقل من ذلك الذي يؤمنه الجهاز المتوافق مع المعايير البريطانية.

يجب أن تناسب المعدات قيم الجهد والتيار والتردد لتأثير هذه المقادير على خصائص المعدات، والطاقة المطلوبة لأداء الوظيفة المطلوبة منها.

يجب على كل عنصر من عناصر الجهاز المختار أن يكون متوافقاً مع الأجهزة الأخرى أثناء الخدمة العادية بما فيها الفصل/الوصل.

يجب أن يكون لكل عنصر من عناصر الجهاز المحدد تصميم مناسب لموقع تشغيله. إذا لم يكن الجهاز، ببنيته، مناسباً للوسط الذي يتم تشغيله فيه. عندئذ يجب تأمين إجراءات حماية إضافية بشرط ألا تؤثر على عمله بشكل كبير.

باستثناء وصلات الكبلات (راجع القسم 526)، يجب أن تتوفر قابلية الوصول لكل عنصر من المعدات عند الضرورة، وذلك من أجل تشغيله، مراقبته، صيانته، ووصله.

يجب تزويد كل عنصر من عناصر الجهاز بوسائل تعرف (identification) مناسبة باستثناء أماكن عدم وجود احتمال للخطأ. في حال عدم توفر إمكانية مراقبة عمل لوحة المفاتيح أو لوحة التحكم من قبل المستثمر وحيث يمكن أن يقود ذلك إلى خطر محتمل، فيجب إضافة مؤشر مناسب يكون مرئياً من قبل المشغِّل.

نواقل الحماية Protective conductors: يتم بشكل خاص حجز مجموعة الألوان الأخضر والأصفر لنواقل الحماية ويجب عدم استعمال هذه الألوان لأي أغراض أخرى. عند استخدام القضيب الناقل كناقل حماية فيتم تعريفه من خلال طوله مع أشرطة باللون الأخضر والأصفر (Reg. 514-03-01).

المخططات Diagrams: يجب توفير مخططات نظامية تشير بشكل خاص إلى مكونات ونوع كل دارة، والطرق المستخدمة للتوافق مع مجموعة التعليمات (Reg 413-01-01) والمعنونة "الحماية من التماس المباشر"، كذلك يجب أن تشير، حيث يكون ذلك مناسباً، إلى المعطيات اللازمة للتوافق مع مجموعة التعليمات (Reg 413-02-04) والمعنونة "خصائص أدوات الحماية الآلية" بالإضافة إلى المعلومات اللازمة للتعرف على أجهزة الحماية وأماكن توضعها.

ملاحظات التحذير Warning notices: يجب أن يتوفر لأي علبة (غلاف) يتجاوز الجهد فيها القيمة 230 V (Reg. 514-10)، وحيثما تتواجد أجزاء حية من غير الممكن

عزلها (Reg. 514-11)، يجب أن تتوفر لافتات دائمة تحوي العبارة "وصل كهربائي آمن – لا تقم بإزالته" يجب أن تثبت هذه اللافتة في موقع مرئي بالقرب من النواقل والموصلات الأرضية (Reg. 514-13)، ويجب أن تثبت ملاحظات بالقرب من مركز أي منشأة تشير لإتمام المراقبة أو الاختبار (Reg. 514-12).

التوافقية الإلكترومغناطيسية Electromagnetic compatibility: يجب أخذ متطلبات كل من BS EN 50082 و BS EN 50081 بالحسبان عند اختيار معدات أي منشأة.

أنظمة الأسلاك Wiring systems: يجب على الكبلات المرنة أو غير المرنة أو الأسلاك المرنة لأنظمة الجهد المنخفض أن تكون متوافقة مع المعايير البريطانية المناسبة أو تلك المتوافقة معها. قد يتحد الكبل غير المرن المغلف بالرصاص، ومادة PVC أو مادة مرنة للاستخدام من أجل الهوائي، مع سلسلة سلكية أو قد يتضمن ناقل نحاسي مسحوب بصلابة.

في القسم الذي يتعامل مع الجزء السادس، أدناه، تم توصيف طرق حماية مناسبة لهذه المواقع أو المنشآت الخاصة.

الجزء 6. المواقع أو المنشآت الخاصة

طور قسم جديد بالكامل ضمن النسخة (16) كالجزء السادس بالعنوان المبين أعلاه (BS 7671:1992) ويغطي ما يسمى "المواقع والأجهزة الخاصة". وهذه عبارة عن المواقع الحاوية على أحواض الحمامات أو حوض الدوش، أحواض السباحة، المواقع الحاوية على مسخنات الهواء "ساونا"، أجهزة بناء الموقع، الأجهزة الكهربائية للعقارات الزراعية والبساتين والمواقع الناقلة المقيدة، المعدات ذات تيارات نواقل الحماية العالية، الأجهزة الكهربائية في عربات النقل (القوافل) ومحركاتها (القسم الأول)، ومواقف هذه القوافل (القسم الثاني)، ولوازم وأثاث الشوارع ومصادر التغذية بالطاقة للطرق السريعة. كل ذلك تم تعديله وإضافته لنسخة 2001 من BS 7671. وقد تم حجز قسم مستقل من أجل الموانئ، وهناك أيضاً قسم إضافي متروك بلا عنوان محجوز للاستخدام في المستقبل. قامت المتطلبات الخاصة لهذه المواقع أو الأجهزة الخاصة بتعديل أو استكمال المتطلبات العامة المحتواة في أجزاء التعليمات

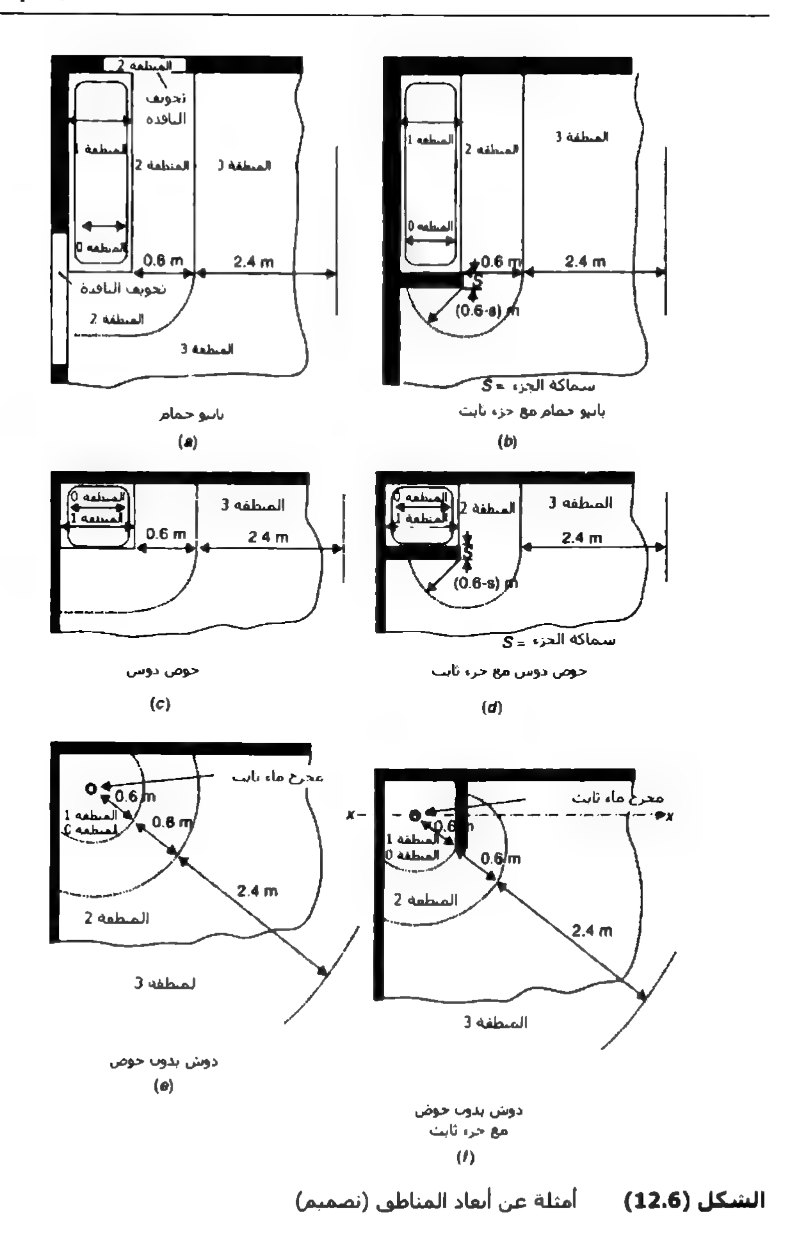
(Reg. 600-01) الأخرى. يفهم من غياب المراجع في كل فصل، قسم أو لائحة على أن التعليمات ذات الصلة تكون قابلة للتطبيق.

المواقع الحاوية على الحمام أو الدوش: يسلط الضوء في هذا القسم على بعض التعليمات المتعلقة بأحواض الحمام أو الدوش والمنطقة المحيطة بهما، حيث يزداد خطر الصدمة الكهربائية بنتيجة انخفاض مقاومة الجسم وبسبب ملامسة الجسم مع جهد الأرض. تتواجد مثل هذه الشروط في معظم المساكن المترلية. هذه التعليمات غير مطبقة في الأمور الطارئة في المناطق الصناعية والمخابر، وقد تبرز ضرورة لبعض المتطلبات الخاصة للمواقع الحاوية على حوض للعلاج الطبي. تم في نيسان من عام 2000 ونتيجة التعديل الثالث على BS 7671:1992 مراجعة شاملة للقسم 601 "المواقع الحاوية على حوض حمام أو حوض دوش"، وقامت المواصفة BS 7671:2001 بضم هذا التعديل إلى المراجعات المستقبلية القليلة والتنقيحات على مستوى التحرير.

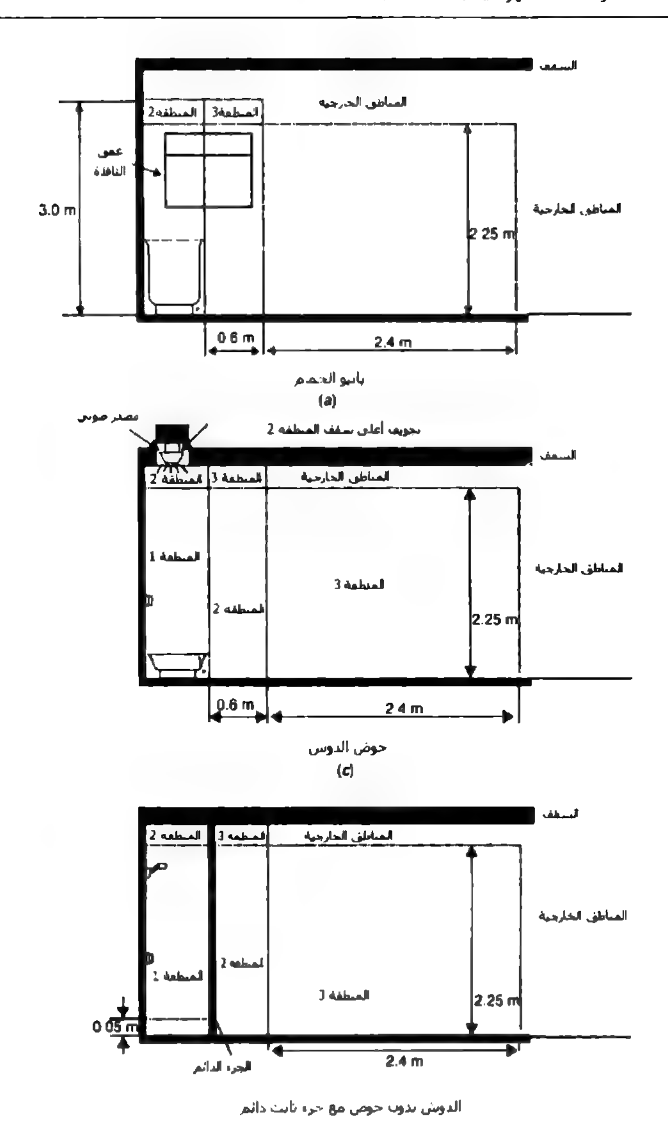
التعديل الرئيسي الذي جرى للقسم الجديد 601 كان الدخول إلى مفهوم المناطق. حيث تم في التعليمة (Reg. 601-02-01) تعريف أربع مناطق هي المناطق 0، 1، 2، 3. وقد أخذت هذه المناطق بعين الاعتبار كل من الجدران، الأبواب، الأرضيات والأقسام الثابتة. تقدم المخططات 601A و 601B (في التعليمات) كأمثلة للمساعدة على ترجمة هذه التعاريف وهذه المخططات معروضة هنا في الشكلين (12.6) و (12.7).

أحواض السباحة: يغطي هذا أحواض السباحة والتجديف والمناطق المحيطة بهم. المتطلبات الخاصة التي قد تكون ضرورية لأحواض السباحة للاستخدام الطبي. تم تعريف ثلاث مناطق ضمن مجموعة التعليمات (Reg. 602-02) هي المنطقة A وهي منطقة داخل الحوض، المنحدر، أو القناة، وتتضمن أجزاء من الفتحات الأساسية في جدرانها وأرضيتها التي يمكن للأشخاص الوصول إليها في الحوض.

تتحدد المنطقة B عبر (a) مستوي عمودي 2 m من حافة الحوض، و (b) بالأرضية أو السقف المتوقع وصول الأشخاص إليه، و (c) بمستوي أفقي 2.5 m أعلى الأرضية أو السطح باستثناء موقع الحوض فوق الأرض، عندما يجب أن يكون 2.5 m فوق حافة الحوض. تتضمن هذه المنطقة كذلك مناطق أخرى يمكن أن يتم فيها التغطيس.



الشكل (12.6) أمثلة عن أبعاد المناطق (تصميم)



الشكل (12.7) أمثلة عن أبعاد المناطق (مسقط رأسي)

تتحدد المنطقة C عن طريق (a) مستوي عمودي يحيط بالمنطقة B والمستوي العمودي الموازي خارج المنطقة B بمسافة 1.5 m ، و (b) الأرضية أو السطح المتوقع أن يُشغل بالأشخاص والمستوي الأفقي أعلى الأرضية أو هذا السطح بمقدار 2.5 m.

في المناطق A و B لا تستخدم أنظمة التمديدات السطحية المجاري المعدنية أو الوصلات المعدنية أو الكبلات المعدنية المكشوفة، الأغلفة المعدنية أو ناقل التوصيل الأرضي المكشوف (Reg. 602-06-01). يجب أن تحتوي المناطق A و B فقط على الأسلاك الضرورية لتغذية المعدات الموضعية في هذه المناطق (Reg. 602-06-02)، ويجب عدم تركيب علب التوصيل المعدنية في المناطق A، B (Reg. 602-06-03). أما منافذ المقابس والمفاتيح والملحقات مسموحة فقط في المنطقة C تحت شروط معينة محددة في التعليمة (Reg. 602-07-02) ويجب أن تتوافق منافذ المقابس مع المعيار EN 60309-2.

ساونا الهواء الساخن: متطلبات هذا القسم الخاصة تطبق على المواقع الحاوية على معدات أو أجهزة تسخين الهواء "ساونا" والخاضعة للمعيار EN 60335-2-535 وتمثله التعليمات (Reg. 603-01-01).

مواقع البناء: هذا القسم ينطبق على الأجهزة المستخدمة لأغراض التغذية الكهربائية للمهام التالية: بناء الأبنية الجديدة، الصيانة، التبديل،التمديد و هدم المباني الراهنة، المنشآت الهندسية، الأعمال الأرضية، والأعمال المشابهة (Reg. 604-01-01). لا تطبق هذه التعليمات على الأجهزة في مكاتب موقع البناء، غرف المعاطف، غرف الاجتماعات، المطاعم، المساكن، دورات المياه،... إلخ. حيث تطبق فيها متطلبات التعليمات العامة. تحدد الأجهزة الثابتة لموقع البناء إلى مجموعة من لوحة مفاتيح القيادة الكهربائية الرئيسية وأدوات الحماية الأساسية، يتم في هذا الجزء تغطية الأجهزة المحملة كهربائياً والمعدات المحمولة (Reg. 604-01-02).

العقارات الزراعية والبساتين: تطبق المتطلبات المعروضة في القسم (605) على جميع أجزاء الأجهزة الثابتة لهذه الأنواع من العقارات سواء في الداخل أو الخارج وفي الأماكن حيث يتم الاحتفاظ بالماشية.

الجزء 7. المراقبة والاختبار

يجب أن يراقب كل جهاز ويختبر للتحقق من الامتثال للتعليمات. (من أنه يحقق المتطلبات). سيكون ذلك نشاطاً دائماً (ongoing) أثناء الإعداد أو البناء (erection) وعند الانتهاء أو الإنجاز. يجب أن تتخذ تدابير احترازية لتجنيب الأشخاص المخاطر وتجنيب الملكيات الضرر، وكذلك إبعاد الأذى عن المعدات المراد اختبارها وفحصها ومراقبتها. تقدم التعليمة (712-01-03) لائحة بهذه الاختبارات. تقدم التعليمات (713-02) حتى (713-13) لائحة بالاختبارات الواجب تنفيذها والتسلسل الواجب أن تنجز به. تشمل: استمرارية نواقل الحماية، والتوصيل الأرضي متساوي الجهد equipotential bonding، استمرارية دارات الحلقة الانتهائية، مقاومة العزل، عزل تطبيقات الموقع، عزل أو فصل الدارات، مكاملة الأحمال (integrity of barriers)، عزل الأرضيات والجدران غير الناقلة، تصحيح قطبية المنصهرات (fuses))، وصل حوامل المصابيح، مقاومة القطب الأرضي وممانعة الدارة الأرضية. يجب قياس تيار العطل prospective وحسابه أو تحديده بطريقة أخرى. أخيراً، يجب أن تخضع المعدات أو الأجهزة لاختبار وظيفي مناسب. تطبق المتطلبات أعلاه على أجهزة متغيرة أو مضافة للمنشأة.

المراقبة الدورية والاختبار: يجب إجراء المراقبة والاختبارات الدورية بشكل معقول وقابل للتطبيق من أجل تحديد فيما إذا كانت المنشأة أو الجهاز تحت شروط أو ظروف مرضية أو بفكه بشكل جزئي حسب الحاجة. يجب أن يتحدد تردد عملية المراقبة والاختيار بالأخذ بعين الاعتبار نوع المنشأة أو الجهاز من حيث الاستخدام والتشغيل وجودة الصيانة والمؤثرات الخارجية.

إن استمرارية المراقبة عن طريق الأشخاص المخولين (المختصين)، مع الاحتفاظ بالسجلات المناسبة سيخدم مكان المراقبة والاختبار الدوري.

المصادقة وكتابة التقرير: بعد انتهاء التحقق من الجهاز أو المنشأة الجدد، أو التعديلات الطارئة على جهاز موجود، يجب الخروج بشهادة مصادقة كهربائية. يقدم الملحق 6 من التعليمات نموذجاً لهذه الشهادة، ويجب على هذه الشهادة أن تعرف بشكلٍ وافٍ وكافٍ الدارات المغطاة والاختبارات المنفذة. يجب على تقرير

المراقبة أن يبرز بعد إنجاز المراقبة الدورية والاختبارات لمنشأة ما. جميع الوثائق المماثلة يجب أن توقع وتمهر (تختم) من قبل الشخص أو الأشخاص المختصين (ذوي الخبرة) أو الكفاءة.

الترتيبات التقليدية للدارة

يقدم هذا القسم بعض التفاصيل المتعلقة بأنظمة الدارة التقليدية والتي تلبي متطلبات الفصل 46 للعزل والتوصيل، بالاقتران مع المتطلبات عند الأخذ بعين الاعتبار سعات حمل التيار للنواقل المشروحة سابقاً في الفصل 52 والملحق 4.

تقع المسؤولية على عاتق المصمم أو المركب (المعد) عندما يعتمدهم، بأخذ التدابير الملائمة، للموافقة أو المواءمة مع الفصول الأخرى أو الأقسام الأخرى من التعليمات المناسبة. تم اقتطاع المعلومات القادمة من الملحق E من الدليل الإرشادي رقم 1. المنظومة التقليدية للدارة هي:

A. دارة انتهائية تستخدم منافذ مقابس متوافقة مع BS 1363

B. دارة انتهائية تستخدم منافذ مقابس متوافقة مع BS 196

C. دارة انتهائية دائرية radial تستخدم ... BS 4343

D. الدارات الانتهائية للطباخ في العقارات السكنية

ملاحظات إرشادية

1. الاختيار والتركيب
2. العزل والتوصيل
3. المراقبة والاختبار
4. الحماية من الحريق
5. الحماية من الصدمة الكهربائية
6. الحماية من زيادة التيار
7. المواقع الخاصة.

13

الإضـــاءة

بشكل افتراضي، تمتلك جميع المباني إضاءة كهربائية تؤدي غايتين اثنتين. فهي تساعد في التعرف على الأشياء من حولنا بسرعة وبتفاصيل كافية لاكتشاف كل ما نحتاجه للتعرف عليها، وتساهم في جعل المباني مواقع آمنة ومريحة للعمل أو لمزاولة أي نشاطات أخرى. يجب دوماً توفير ضوء كاف لجعل الأشياء مرئية، غير أن عوامل أخرى لا تقل أهميةً يمكن أن تؤثر على سهولة تمييز هذا الشيء. من هذه العوامل نذكر: اتجاه ورود الضوء، السطوع والتباين اللوني المتولد بين تفاصيل الجسم المراقب والخلفية، وجود أو غياب انعكاس النور في أجزاء من الجسم الذي ننظر إليه، والتبدلات اللونية الناتجة عن نوعية المصباح المستخدم.

CIBSE: قـام المعهـد القانـوني لمهندسي خدمـات الأبنيـة، قسم الإضـاءة (The Chartered Institute of Building Services Engineers, Lighting Division) (سابقاً جمعية هندسة الإضاءة Illuminating Engineering Society) بوضع ترميز للإضاءة الداخلية. وقد أخذت بعض المعلومات الواردة في هذا الفصل من هذا الترميز الذي نشر في كانون الثاني من عام 1984. فيما يلي بعض أهم المصطلحات المستخدمة في تصميم الإضاءة وواحدات القياس ذات الصلة.

تدفق الضوء Luminous flus: وهو الضوء المرسل من مصدر ما، أو المستقبل من قبل سطح ما. يعبر عنه بواحدة لومن (lumens) ويرمز له بالرمز ϕ.

لومن Lumen: الواحدة الدولية لقياس تدفق الضوء. فمصباح 100 W عادي على سبيل المثال، يصدر ما يقارب 1200 لومن. إذن اللومن هو التدفق الضوئي الصادر ضمن واحدة الزاوية الفراغية (1 steradian) عن مصدر نقطي ذي كثافة ضوئية منتظمة بواحدة كانديلا ويرمز له بالرمز lm.

شدة الإضاءة Luminous intensity: وهي الكمية المعبرة عن قدرة مصدر ضوئي أو سطح مضاء على إرسال الضوء باتجاه محدد. فهي إذاً حاصل قسمة التدفق الضوئي التي يتم إرساله من خلال مخروط ضيق جداً، يضم الاتجاه المحدد، على الزاوية الفراغية (Solid angle) للمخروط. يعبر عن النتيجة بواحدة تسمى كانديلا ويرمز لها بالرمز I.

كانديلا Candela: الواحدة العالمية لقياس شدة الإضاءة. وهي عبارة عن لومن لكل ستيراديان ويرمز لها بالرمز cd.

شدة الاستضاءة Illuminance: كثافة التدفق الضوئي على سطح ما، أي، التدفق الضوئي الساقط في واحدة المساحة. عرفت هذه الكمية في السابق باسم قيمة الإضاءة أو بمستوى الإضاءة. ويعبر عنها بواحدة اللوكس Lux (lm/m^2) ويرمز لها بالرمز E.

خدمة الاستضاءة القياسية Standard service illuminance: وتمثل خدمة الاستضاءة طوال فترة صلاحية الجهاز والمقسمة على المساحة ذات الصلة. يمكن لهذه المساحة أن تكون كامل مساحة مستوي العمل في الداخل، أو مساحة الهدف المرئي وما يحيط به مباشرةً. ويعبر عنها بواحدة lux. تحدد جداول هذا الفصل استضاءة مساحات محددة مبنية على خدمة الاستضاءة القياسية.

اللوكس Lux: الواحدة القياسية العالمية لقياس شدة الاستضاءة وتعادل (lm/m^2).

قدم – شمعة Foot-candle: تمثل واحدة قديمة للاستضاءة ولها نفس قيمة (lm/ft^2).

الاستضاءة الكروية الوسطية Mean spherical illuminance. الاستضاءة السلمية (Scalar illuminance): وهي متوسط الاستضاءة على كامل سطح كرة صغيرة جداً موجودة في نقطة ما. يعبر عنها بواحدة lux ويرمز لها بالرمز E_s.

الاستضاءة الأسطوانية الوسطية Mean cylindrical illuminance: متوسط الاستضاءة على السطح المنحني لأسطوانة صغيرة جداً موجودة في نقطة محددة، ما لم يؤخذ محور الأسطوانة بشكل عمودي. ويعبر عنها بواحدة lux ويرمز لها بالرمز E_c.

الإضاءة Luminance: مصطلح يعبر عن شدة الضوء المرسل في اتجاه معين لواحدة المساحة المضاءة أو السطح العاكس. إنها التدفق الضوئي الصادر باتجاه معين من عنصر سطحي، مقسوم على جداء مسقط مساحة ذلك العنصر العمودي على الاتجاه الموصوف مع الزاوية الفراغية الحاوية على هذا الاتجاه. يعبر عنها بواحدة $lm/m^2.sr$، والمكافئة لواحدة cd/m^2. وفي تصميم الإضاءة الداخلية فإن هذا المصطلح يمثل جداء شدة الاستضاءة مع عامل الإضاءة (q.v.) للشروط الخاصة للإضاءة والمشهد. عند إمكانية افتراض عدم وجود لمعان السطح دون خطأ كبير فإن إضاءة هذا السطح في أي اتجاه ستكون عبارة عن جداء شدة الاستضاءة وانعكاسيته. يمكن التعبير عنها بواحدة lm/m^2 (apostilbs) ويرمز لها بالرمز L.

Apostilb: وهي واحدة مترية لقياس الإضاءة، يتم التعبير عن وحدة الإضاءة في هذا النظام بشدة الإضاءة التي يملكها ناشر منتظم يرسل شدة $1lm/m^2$. يرمز لهذه الواحدة بالرمز asb. $asb = \frac{1}{\pi} cd/m^2$

كانديلا لكل متر مربع. واحدة دولية للإضاءة، وهي لومن لكل متر مربع لكل ستيراديان. واحدة الإضاءة في هذه الجملة هي لمستوي منتظم ناشر يصدر π لومن لكل متر مربع. الرمز هو cd/m^2. لتحويل الإضاءة من Apostilb إلى الواحدة الدولية نقسم Apostilbs على π.

الضياء (السطوع) Luminosity: الإحساس البصري المرتبط بكمية الضوء الصادر من جهة معينة. يستعمل تعبير السطوع بشكل عامي.

الوهج Glare: المضايقة أو ضعف الرؤية المصادف عند لمعان أجزاء من مجال الإبصار بشكل مفرط فيما يتعلق بالبيئة المحيطة العامة. هناك عدد من التعابير التي تصف مقدار الوهج. على سبيل المثال، وهج العجز الذي يمنع رؤية التفاصيل، الوهج المضايق الذي يسبب مضايقة بصرية لكن قد لا يضعف القدرة على رؤية

التفاصيل، الوهج المباشر الناتج عن رؤية أجزاء لامعة بشكل مفرط في مجال الإبصار كمصادر الضوء المكشوفة.

دليل I.E.S للوهج: وهو دليل عددي تم حسابه طبقاً للطريقة المشروحة في I.E.S. التقرير التقني رقم 10. وهو يمكن من تصنيف الوهج المضايق وفق ترتيب الشدة والحد المسموح فيه من قبل الجهاز والموصف بشكل كمي. تم تحديث التقرير التقني ذاك وهو حاليا متوفر كمذكرة تقنية رقم 10 في CIBSE.

فاعلية الإضاءة Luminous efficacy: وهي نسبة التدفق الضوئي الصادر عن مصباح إلى الطاقة التي يستهلكها. ويعبر عنها بواحدة lm/W.

الانعكاسية Reflectance: وتمثل نسبة التدفق المنعكس من سطح ما إلى التدفق الساقط عليه. وقيمتها أقل من الواحد بشكل دائم، ويرمز لها بالرمز ρ.

النظام المناطقي البريطاني British zonal system (BZ): وهو نظام وضع لتصنيف الأجسام المضيئة بناء على توزع ضوءها باتجاه الأسفل. تشير أرقام أصناف BZ إلى تصنيف الأجسام المضيئة بدلالة التدفق الناتج عن تركيب تقليدي بحيث يسقط الضوء مباشرة على مستوي العمل، بالنسبة إلى التدفق الكلي الصادر تحت الأفق. مع أنه ما زال يقتبس منه في بعض الأحيان،إلا أنه استبدل لأغراض حسابات التدفق بالطرق الموجزة في مذكرة CIBSE التقنية رقم 5.

دليل الغرفة Room Index: وهو دليل يتعلق بأبعاد الغرفة، ويستخدم لدى إجراء حسابات عامل الاستثمار ومميزات الأجهزة الضوئية. ويعطى بالعلاقة:

$$\frac{lw}{h_m(l+w)}$$

حيث l طول الغرفة، w عرضها، h_m ارتفاع الجسم المضيء عن مستوي العمل.

عامل الاستثمار Utilization factor: التدفق الإجمالي الواصل إلى مستوي العمل مقسوماً على التدفق الإجمالي للمصباح.

PSALI: وهو اختصار لعبارة "الإضاءة الاصطناعية الإضافية الدائمة لتدفق المصباح الكلي".

PAL: وهو اختصار لعبارة "الإضاءة الاصطناعية الدائمة".

الانعكاس Reflection: حينما يسقط الضوء على سطح ما، يتم امتصاص جزءاً منه، والباقي إما أن ينعكس أو يتم إرساله. فإذا كان السطح معتم ولامع جداً، فإن الضوء المنعكس سيترك هذا السطح بشكل تناظري (مرآتي) وبنفس الزاوية التي ورد فيها. (مثل كرة البلياردو التي تضرب المسند)، وبواسطة سطح ذي شكل مناسب، فإنه يمكن إعادة توجيه الضوء في أي اتجاه مرغوب (مثل المصباح الأمامي للسيارة، حيث يوضع مصباح عند النقطة البؤرية لمرآة صقيلة على شكل قطع مكافئ تقوم بتوجيه غالبية الضوء باتجاه الأمام). يقع الانعكاس المنتشر عبر السطوح غير الصقيلة أو غير اللامعة. حيث ينعكس الضوء بقوة كبيرة بزاوية قائمة إلى السطح (مهما كان الاتجاه الوارد منه الضوء) ويتقدم تدريجياً بشكل ضعيف أكثر بالزوايا الأخرى. السطوح غير اللامعة لن تظهر أي أشياء مهمة. إن معظم السطوح المطلية والسطوح الأخرى هي عواكس ناشرة للضوء بشكل جزئي وتصنف بناءً على نوع الانعكاس السائد.

الانتشار Diffusion: يمر الضوء خلال المواد الشفافة بشكل مباشر، غير أنه يمكن أن يتبعثر أو ينتشر إلى مدى أكبر أو أصغر عبر المواد نصف الشفافة. لدى عبوره زجاج العقيق المومض أو مكافئه البلاستيكي، يتبعثر الضوء كلياً ولذلك فإنه يظهر في جميع الاتجاهات، يمكننا وبسهولة إخفاء المصابيح خلف لوح من هذه المواد. أما الزجاج المسنفر فإنه يبعثر الضوء بدرجة أقل، ولذلك فإنه يظهر بشكل رئيسي بنفس الاتجاه العام الذي ورد إليه لهذا النوع من الزجاج، في الواقع من الممكن عادة مشاهدة مواقع المصابيح المنارة خلف ألواح من هذا الزجاج ولكن بشكل غير واضح المعالم. والزجاج المطرق أو المسحوب والبلاستيك المكافئ يسبب انتشار وإخفاء للقوة أقل من الزجاج المسنفر لكنه يمتاز ببريق يجعله مفضلاً في العديد من الحالات.

الانكسار Refraction: لدى مرور الضوء عبر مادة شفافة لا تمتلك جوانب متوازية، فإن الضوء سينحرف مبتعداً عن اتجاهه الأصلي عن طريق عملية تدعى الانكسار. الزجاج المضلع أو التركيبات البلاستيكية التي يكون فيها كل ضلع عبارة عن موشور مصمم بعناية وبالتالي يمكنه لهذا السبب التحكم بالضوء وبدقة بالاتجاه المطلوب، وهذا المبدأ مستخدم بكثرة في تجهيزات إنارة الشوارع الكهربائية.

الظلال Shadows: عندما تؤدي إعاقة أو عقبة ما إلى إخفاء تام لمصدر الضوء عن نقطة ما فقط، لنقل، الأرضية، فإن الظل عند تلك النقطة سيكون كاملاً. لكن إذا تم إخفاء جزئي لمصدر الضوء، فسيكون هناك ظل جزئي فقط. وبعد، فإن تركيز الضوء يؤدي إلى نشوء ظلال عميقة عند الحواف الصعبة، بينما فيزيائياً، المصادر الكبيرة تؤدي لظلال ناعمة وضعيفة، كذلك فإن تزايد عدد المصادر الضوئية في الغرفة، وكذلك كثرة الأضواء المنعكسة من الأسقف والجدران تساعد على نشوء ظلال أنعم وأضعف.

غالباً تدعى أضواء النيون بالأضواء ذات الظلال القليلة. لا ينطبق ذلك على المصابيح الوحيدة، مع ذلك فإن طول المصباح يؤدي لتخفيض ظلال الأجسام الخطية (الطولانية) بزوايا قائمة مع محورها الرئيسي، ويؤدي عرض الأجسام الصغير لنشوء أجسام موازية لها. وهكذا تتوزع الظلال بالاعتماد جزئياً على شكل العقبة وبشكل جزئي على توجيه مصباح النيون المرتبط بها.

عندما يطلب تخفيض الظل لمكان أو تركيب معين، فإن الهدف يجب أن يكون ضمان أن كل نقطة هامة في ساحة العمل يمكن أن يرى منها جزء من التركيب، وهكذا لإضاءة مغسلة مطبخ، يجب وضع مصباح النيون فوق وبموازاة الحافة الأمامية للمغسلة، لهذا الموقع فإن رأس وأكتاف الشخص سيعيقان كمية قليلة من الضوء فيما لو وضع المصباح بزاوية قائمة بالنسبة لهذا الموقع.

الوهج Glare: تم وصف الوهج على أنه "ضوء في مكان غير ملائم". بشكل نموذجي، فإن الضوء المطبق يسهل الرؤية ويجعلها مريحة، ويملك الوهج تأثير عكسي ويعني بأن المال المهدور على الإضاءة يؤدي إلى تخفيض التأثير البصري.

يمكن أن ينشأ الوهج على نطاق واسع إما عن طريق دخول العين كمية كبيرة من الضوء من اتجاهات خاطئة، أو عن طريق بعض الأشياء البراقة بشكل كبير بالنسبة للسطوح الأخرى في حقل الرؤية الطبيعية. يمكن اجتناب الوهج أو تخفيضه إلى الحدود الدنيا من خلال تطبيق القواعد التالية:

1. استخدام تركيبات إضاءة بحيث يتم وضع الضوء المتجه للأسفل بشكل رئيسي بالاتجاه المطلوب - فوق العمل- مع التروع قليلاً باتجاه عين العامل. وهذا فقط ضروري لعرض مصابيح النيون من الزوايا الطبيعية للمشهد كأي جسم آخر.
2. جعل التفاصيل الفعلية البادية للمشاهد ذات لمعان أقل من أي شيء آخر مشاهد في نفس اللحظة. (مثلاً الورق الأبيض على مكتب خفيف الألوان). الأقمشة الداكنة المرئية أمام السطوح ذات الألوان الخفيفة، سيكون هناك حاجة لضوء موضعي ليبدو منظر الأقمشة لامعاً.
3. استخدم ديكورات الأضواء الملونة، وتأكد من انتشار كميات كافية من الضوء باتجاه الأعلى والجوانب لإضاءة السقف والجدران بحيث تصبح أقل لمعاناً، وذلك يقلل من تغاير السطوع بين التركيبات والأرضيات المركبة عليها.
4. تجنب استخدام سطوح العمل اللامعة إذا أمكن (كالخشب المطلي بمواد لامعة) والتي تقوم بعكس تركيبات الإضاءة.
5. كلما زادت شمولية التركيب، وارتفعت الإضاءة، يجب اتباع هذه القواعد بعناية أكبر.

يقدم ترميز CIBSE للإضاءة الداخلية المنشور في عام 1994 توصيات للإضاءة الداخلية الجيدة ويعتبر مصدراً لدليل الوهج. يجب أن يطبق هذا العامل في جميع حسابات الإضاءة. بسبب الطبيعة المعقدة للأشياء، يجب على القارئ العودة لهذا الترميز للاطلاع على الشرح التفصيلي قبل استخدامه.

المصابيح الكهربائية

المصابيح الفتيلية Filament lamps: تصنع المصابيح الفتيلية بشكل تقريبي لخدمات الإضاءة العامة لتدوم بمعدل 1000 ساعة عمل كحد أدنى. وهذا لا يعني ضمنياً بأن كل مصباح مستقل يمكن أن يحقق ذلك، لكن تتم موازنة المصباح ذي العمر الأقصر مع المصباح ذي العمر الأطول. بفضل الدقة والانتظام لمصنعي المصابيح البريطانيين، فإن هذه المصابيح تختلف عن بعضها البعض (من حيث عدد ساعات العمل) بهامش ضئيل فقط. حالياً، تعمل معظم المصابيح لفترة تزيد عن 1000 ساعة عمل أو تقل عن ذلك بقليل وذلك عند استخدامها للغرض المعدة له.

بشكل عام، يمكن استخدام المصابيح المفرغة ذات الأشكال الأنبوبية المتقنة في أي موقع دون أن يتأثر أداؤها. يتم تصميم المصابيح العادية ذات الشكل الجرسي والمملوءة بالغاز ليتم استخدامها في المواقع العلوية حيث يظهر القليل من الشحوب في أواخر فترة صلاحيتها. يمكن أن تعلق الأحجام الصغيرة منها حتى 150 W بشكل أفقي، أو بشكل مقلوب، ولكن كلما تقادم المصباح في هذه المواقع كلما تنامى هذا الشحوب من جانب الفتيلة وبدأ بامتصاص قسم من الضوء. كذلك يمكن أن يؤثر الاهتزاز على المصابيح ويكون له آثار خطرة على عمر المصباح في هذه المواقع. من أجل المصابيح ذات الاستطاعات الأكبر من 150 واط فإن احتراق المصباح في المكان الخاطئ سيؤدي إلى التقليل من عمر المصباح بشكل كبير.

المصابيح ذات الفتيلة الحلزونية الملتفة Coiled-coil lamps: بواسطة اللف المضاعف لفتيلة المصباح الفتيلي ذي الاستطاعة المحددة، يمكننا استعمال فتيلة أطول وأثخن، وبذلك يمكن الحصول على خرج ضوئي إضافي من مساحة سطح فتيلة أكبر تحافظ على نفس درجة الحرارة مما يجنب التضحية بالعمر. يتراوح الضوء الإضافي الناتج بين 20% لمصباح باستطاعة 40 W إلى 10% لمصباح باستطاعة 100 W.

تأثير اختلاف الجهد: تعتبر المصابيح الفتيلية حساسة جداً لتغيرات في جهد التغذية حيث يؤدي تجاوز الجهد بمقدار 5% إلى اختزال عمر المصباح إلى النصف وذلك بسبب العمل المفرط للفتيلة. بينما يؤدي انخفاض الجهد بمقدار 5% إلى إطالة عمر المصباح ولكن بإضاءة أقل من الإضاءة الاسمية مع بقاء الاستهلاك عند القدرة

الواطية الاسمية، لذلك يجب أن يتوافق جهد تغذية المصباح مع مجال الجهد المصمم من أجله.

تظهر شكاوي قصر عمر المصباح غالباً كنتيجة مباشرة لارتفاع جهد التغذية الرئيسي عن قيمته التصميمية، ربما لأن المشتكي يعيش بالقرب من محطة التحويل.

المصابيح العاكسة Reflector lamps: تتوفر المصابيح العاكسة باستطاعات تتراوح بين 25W وحتى 150W وذلك لاستخدامها لأغراض العرض. هذه المصابيح ذات مرآة داخلية بمقطع على شكل قطع مكافئ مع فتيلة عند المحرق، وبحافة زجاجية ناشرة بقوة أو بخفة، وبالتالي فإن شعاع الضوء المرسل إما أن يكون عريضاً أو ضيقاً جداً استناداً إلى النوع. يؤمن نوع الزجاج المضغوط (PAR) للمصباح العاكس خرج ضوئي جيد وعمر أطول من زجاج المصابيح المنفوخ. وبسبب صناعتها من زجاج السيليكات، يمكن أن تستخدم في الهواء الطلق ومن دون حماية. غالباً ما تكون الكفاءة المنخفضة جداً للمصابيح المتوهجة العامل الأساس الذي يمنع اختيارها لمشاريع الإضاءة التجارية.

مصابيح الهلوجين التنغستين Tungsten halogen lamps: يعتمد عمر المصباح المتوهج على معدل تبخر الفتيلة التابع جزئياً لدرجة الحرارة وجزئياً للضغط المطبق عليها من غاز الملء. فازدياد الضغط يبطئ من معدل البخر ويسمح للفتيلة بالعمل عند درجة حرارة أعلى وهذا ما يؤدي إلى توليد المزيد من الضوء من أجل العمر نفسه.

عند استخدام بصيلة صغيرة، فإن ضغط الغاز يمكن أن يزداد، غير أن شحوب البصيلة بسبب ذرات التنغستين الناتجة عن الفتيلة بسبب الغاز يؤدي إلى اختزال الخرج الضوئي. إن إضافة كمية صغيرة جداً من الملح الهلوجيني، اليود، أو البروم إلى غاز الملء يقود للتغلب على هذه الصعوبة. تندمج هذه الكمية قرب جدار البصيلة وعند درجة حرارة تقارب 300°C مع ذرات التنغستين الحرة لتعيد تشكيل الغاز. يتم فصل التنغستين عن الملح الهلوجيني ثانية عندما يعاد الغاز إلى الفتيلة بواسطة التيارات الناقلة، وبالتالي يتحرر ملح الهلوجين ليكرر الدورة.

لمصابيح الهلوجين التنغستين عمر أطول، وهي تعطي إضاءة أكبر وهي ذات حجم أصغر بكثير من مكافئاتها التقليدية، وبسبب عدم وجود شحوب البصيلة فإنها تحافظ على لونها طوال فترة حياتها. يجب أن تعمل مصابيح الجهد الرئيسي ضمن زاوية 5° حول الأفق. تعطي مصابيح الهلوجين التنغستين ذات الاستطاعة 1000 W حوالي 21000 lm وعمر 2000 hr. وهي مستخدمة على نطاق واسع في صناعة السيارات. هذه المصابيح، في طريقها لاحتلال واجهات العرض في المحلات التجارية والمناطق المماثلة كمصابيح ديكور وحيدة الطرف ومنخفضة الجهد (12 فولت).

مصابيح التفريغ Discharge lamps: لا يتم الحصول على الخرج الضوئي لهذه المصابيح بواسطة التوهج، وإنما عن طريق تهييج المحتوى الغازي أو البخاري لأنبوب التفريغ. يقوم الغاز المهيج بإصدار الطاقة بطول موجة مميزة ويمكن أن يظهر ذلك على شكل عدة خيوط طيفية متقطعة. قد يؤدي الضوء الصادر بمثل هذه الطريقة المتقطعة إلى تشويه جدي في المظهر اللوني للأشياء المرئية بواسطته. لدى إقلاع أي مصباح تفريغ، يميل التيار للارتفاع بشكل لحظي إلى قيم تدميرية، ولهذا السبب تتم حماية المصباح والأسلاك عن طريق ضم أداة كالخانق إلى الدارة للحد من التيار عند القيم التصميمية الآمنة. عند التغذية بالتيار المستمر يمكن استخدام مقاومة تستهلك في أغلب الحالات نفس القدرة التي يستهلكها المصباح بحد ذاته، وهذا ما يؤدي إلى خفوت في الإضاءة بالمقارنة مع عمل هذا المصباح في التيارات المتناوبة.

يتم وصل الخانق مع المصباح على التسلسل، وتوضع مكثفة عامل استطاعة عبر التغذية الرئيسية إلى جانب تغذية الخانق الرئيسية. يأخذ المصباح - تبعاً لنوعه - عدة دقائق للوصول إلى السطوع الكامل، وعند فصل التغذية، وبسبب ارتفاع الحرارة، لا يمكن إعادة إقلاعه حتى يبرد تماماً. لكن بما أنه بشكل عام تقاوم هذه المصابيح هبوط الجهد المفاجئ بحدود 30 V، فإن الآثار الطبيعية لتقلبات الجهد لن تؤثر بشكل خطر.

أنابيب الفلوريسانت: الأنبوب عبارة عن مصباح تفريغ زئبقي يتم فيه طلاء داخل أنبوب التفريغ بمادة فوسفورات الفلور، وبما أن ضغط البخار منخفض، يتم إصدار

نسبة من الأشعة فوق البنفسجية (U.V) أكبر من الأشعة المرئية. تقوم هذه الأشعة بتهييج مسحوق الفلور والذي يقوم بدوره بإصدار الضوء المرئي.

باختيار الفوسفور بشكل صحيح، فإنه يمكن توليد أي لون. وبما أن الضوء ينتج عن الفوسفور، فإن نسبة الضوء المرئي إلى الإشعاع الحراري أكبر بكثير في أنابيب الفلور منها للمصابيح الوهاجة. ولذلك، فإن المصابيح ذات كفاءة عالية وأيضاً هادئة ولهذا، يمكن استخدامها في المواقع التي تولد فيها المصابيح الفتيلية حرارة كبيرة جداً. كان من المتعارف عليه أن كفاءة مصابيح اللون الأبيض ترتبط بشكل وثيق مع خصائص التصيير اللوني التابعة له. هذا يعود إلى أن العين أقل حساسية للضوء الأحمر والأزرق عند نهاية الطيف من الضوء الأخضر والأصفر في وسطه وهكذا يجب استخدام طاقة كهربائية أكثر لتوليد حساسية للضوء الأحمر مقارنة مع تلك اللازمة لنفس قيم إظهار الضوء الأخضر والأصفر. ولذلك، المصابيح ذات الكفاءة العالية (الأبيض أو الأبيض الدافئ) ذات خواص تصيير لوني ضعيفة، بينما المصابيح التي تظهر الأشياء بألوانها الحقيقية مثل Natural Kolor-rite أو Northlight تمتلك كفاءة أقل.

في عام 1980، تم إدخال الفوسفور ذي الحزمة الضيقة (أو ما يسمى بفوسفور "rare earth" إلى أنابيب الفلوريسانت. ولقد أتاح ذلك إمكانية إنتاج مصابيح ذات تصيير لوني جيد بكفاءة عالية بتوليد ثلاث حزم ضيقة أو أكثر من الطاقة لأطوال الموجات الحمراء، الخضراء، والزرقاء، تفسرها العين على أنها لون أبيض. يمكن أن يعمل الفوسفور عند درجات حرارة عالية وهو ذو سماحية لتطوير جيل جديد من المصابيح المضغوطة. تم إنتاج مجال أعلى من المصابيح ذات الأقطار الضيقة (26 mm عوضاً عن 38mm).

مكنت عملية تغيير غاز الملء في المصابيح من امتلاك الأنابيب ميزات كهربائية مشابهة لأنابيب الفلور التقليدية مع تخفيض مقداره 5% في الطاقة المستهلكة.

بالاتحاد مع الفوسفور المسمى rare earth، تتوفر الآن مصابيح ذات كفاءة عالية وذات تصيير لوني أفضل. يمكن لهذه الأنابيب أن تعمل على الدارات الموجودة حالياً مع تخفيض في الطاقة.

مؤخراً، تم تطوير مجال جديد من المصابيح (T5s–) بمعدلات من 14W إلى 35W) بأطوال يمكنها أن تشغل حيز الأجسام المضيئة العصرية. وهي تعمل فقط عبر دارات قيادة إلكترونية خاصة وهي أنحف حتى من الأنابيب القياسية (16 mm عوضاً عن 26 mm). كفاءة المصباح أفضل من المصابيح الموجودة. يتم طلاء الفوسفور بثلاثي الفوسفور بحيث يكون لهذه المصابيح قدرة ممتازة للمحافظة على شدة إضاءتها.

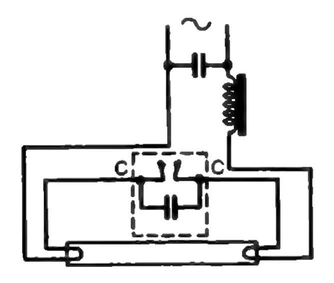
تم إنتاج العديد من مصابيح الفلور المضغوطة مؤخراً، تستهدف في النهاية استبدال التصميم g.l.s وفي حالات كثيرة، الفلور الخطي. حيث التصيير اللوني لهذه المصابيح يقترب بشكل جيد من مصابيح g.l.s وبشكل نموذجي تكون كفاءتها أكبر بخمسة أضعاف. المصباح GE2D هو أحد الأمثلة ويدرج الجدول (13.5) مميزاته.

تقريباً، جميع أنابيب الفلور في الوقت الحاضر، هي من النوع المهبطي الساخن. يعني هذا أن الأقطاب على نهايات المصباح يجب أن تسخن عن طريق تمرير تيار كهربائي عبرها قبل أن يضرب قوس بينها. تتكون هذه المهابط من أسلاك التنغستين المغطى بقطعة من مادة مصدرة للإلكترونات. عندما يسخن المهبط، تتشكل غيمة من الإلكترونات حول المهابط في كلتا نهايتي الأنبوب، تؤدي بدورها إلى تأين الأرغون ضمنه. عادة، يتم وضع خانق على التسلسل في الأنبوب للتحكم بتيار القوس الكهربائي وتيار التسخين المار خلاله وبكلا المهبطين. فيما يلي توصيف للدارات المتنوعة والمستعملة لإقلاع أنابيب الفلوريسانت.

دارة الإقلاع الوهاجة Glow starter circuit: فور إغلاق دارة القاطع الرئيسية، يتم تطبيق جهد التغذية الرئيسي عبر أقطاب مفتاح الإقلاع الوهاج المبين في الشكل (13.1). يكون الجهد كافياً ليسبب تفريغ التوهج في بصيلة مفتاح الإقلاع. إن لذلك تأثير تسخين قطع ثنائية المعدن، والتي تركب عليها تماسات المفتاح.

إن تسخين هذه القطع ثنائية المعدن يؤدي بها إلى الانحناء باتجاه بعضها البعض حتى حدوث التماس. يتم تفريغ التوهج في مفتاح الإقلاع ومن ثم يختفي. يتم تسخين عناصر المسخن التي تتشكل منها الأقطاب في أنبوب الفلوريسانت وذلك بواسطة التيار الذي يمر الآن من خلالها. في أثناء ذلك تبرد القطع ثنائية المعدن التي لم تسخن بعد بواسطة تفريغ التوهج وتنفر مبتعدة الواحدة عن الأخرى.

يؤدي الانقطاع المفاجئ في الدارة، الحاوية على الخانق، إلى اندفاع في الجهد عبر أقطاب مصباح الفلور والذي يبدأ بالتفريغ في مصباح الفلور.

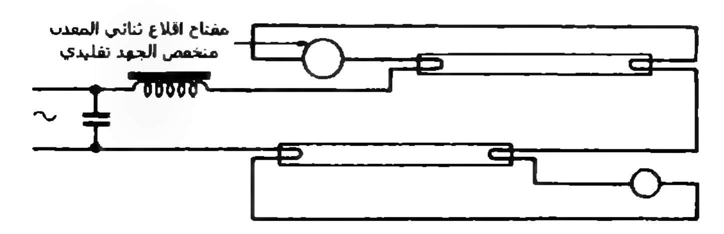


الشكل (13.1) دارة الإقلاع الوهاجة

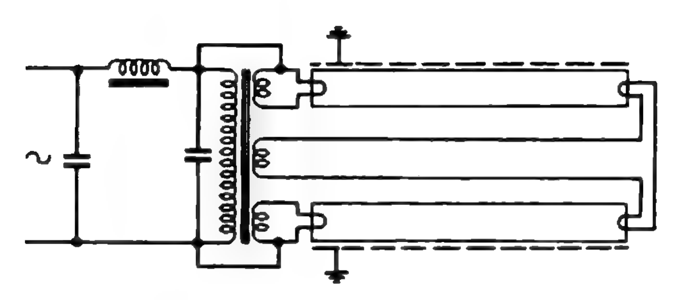
المشعلات الإلكترونية Electronic ignitors: هناك العديد من المشعلات الإلكترونية لأنابيب الفلور الموجودة حالياً في الأسواق. وقد تتخذ هذه المشعلات شكل بديل مبسط عن مفاتيح الإقلاع التقليدية أو يمكن أن تكون مدمجة في دارة كبح متكاملة. معظم هذه المشعلات هي عبارة عن عناصر حالة صلبة، يمكنها تأمين تيار تسخين المهبط لفترة خاضعة للتحكم، تتبعها نبضة جهد إقلاع يمكن أن تستخدم ملفات الخانق كما هو الحال في المقلع الوهاج التقليدي. وهي تعمل عند درجة حرارة منخفضة حتى ‎-5°C‎ ، وتحتاج فقط إلى خانق كبح بسيط، ولها نفس ضياعات القدرة المنخفضة كما في مفتاح التوهج. تقوم هذه المشعلات بحذف الوميض الذي يحدث أحياناً مع المقلعات التقليدية والتي تقصر من عمر المصباح. في هذه المشعلات لا يمكن أن يحدث ما يسمى بالمقلع العالق "stuck starter" وهي بالإضافة إلى ذلك أجهزة دائمة الاستخدام ولا تحتاج للاستبدال كما أنها متوفرة بأحجام تناسب مختلف قياسات أنابيب الفلوريسانت.

الدارة التسلسلية: تحتاج أنابيب الفلوريسانت الأطول من 60 mm إلى مجموعة تحكم، يمكن أن تعمل المصابيح بطول 600 mm أو أقل إما بشكل منفرد على 100-130 V أو 200-260 V (ما عدا المصابيح ذات الاستطاعة 40 W وبطول 600

mm)، أو، كما في الحالة العامة، مصباحان على التسلسل مع خانق واحد 260-200 ٧. هذه الدارة مبينة في الشكل (13.2) ويظهر فيها أن المصابيح ستقلع الواحد تلو الآخر. ويجب أن يكونا كليهما من نفس القدرة الواطية ولكن ليس بالضرورة من نفس اللون. إن التشغيل على التسلسل هو تشغيل اقتصادي وذلك بسبب الحاجة إلى خانق واحد لكل زوج من المصابيح، وكذلك فإن ضياعات الخانق صغيرة، ولكن عند حدوث سوء عمل لأحد المصابيح أو المقلع فسيؤثر ذلك على المصباح الآخر، لذلك يجب التحقق من المشاكل في مثل هذه الدارات حال وقوعها إذا أمكن ذلك. إذا كان من المفروض تشغيل المصابيح المتسلسلة بدارة إقلاع سريعة عندها تبرز الحاجة لمحول بلف مزدوج كما هو مبين في الشكل (13.3) وكلا المصباحين يجب أن يمتلك قطعة معدنية مؤرضة.

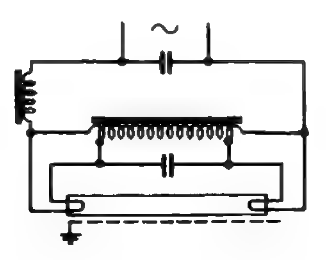


الشكل (13.2) العمل على التسلسل لمصابيح الفلوريسانت القصيرة بإقلاع متبدل



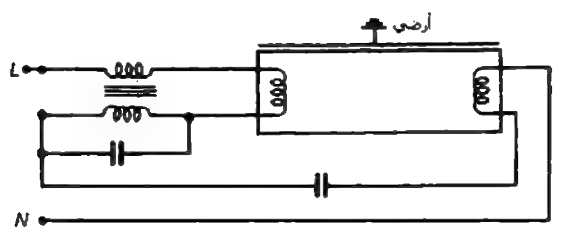
الشكل (13.3) العمل على التسلسل لمصابيح الفلوريسانت القصيرة بدارات إقلاع سريعة

دارة الإقلاع السريع Quickstart circuit: يبين الشكل (13.4) دارة أنبوب فلوريسانت تم تصميمها لتأمين إقلاع سريع بدون الوميض. تتكون هذه الدارة من محول ذاتي، يتم وصل ملفها الأولي على طرفي أنبوب الفلوريسانت، مع الملف الثانوي في مقطعين منفصلين، أحدهما على طرفي كل مهبط. لا تستخدم هذه الطريقة حالياً، لكن تم إدراجها هنا بسبب إمكانية مصادفتها في التجهيزات القديمة (التركيبات القديمة).



الشكل (13.4) دارة إقلاع سريع لعمل مصباح بمفرده

دارة الإقلاع النصف رنانة Semi-resonant start circuit: يتم استبدال الخانق في هذه الدارة بمحول ذي ملف خاص. يمر التيار عبر وشيعة الملف الأولي لأحد مهبطي المصباح، ومن هناك عبر وشيعة الملف الثانوي والملفوفة بمواجهة الملف الأولي. تتصل النهاية الأخرى للملف الثانوي إلى مكثفة ذات سعة كبيرة جداً، ومن هناك وعبر المهبط الثاني للمصباح إلى الحيادي كما هو مبين في الشكل (13.5). لم تعد هذه الطريقة مستخدمة حالياً ولكن تم إدراجها بسبب إمكانية مصادفتها في التجهيزات القديمة (التركيبات القديمة).



الشكل (13.5) دارة إقلاع نصف رنانة

دارة كابح التيار الإلكترونية Electronic ballast circuit. تؤمن دارة الكابح الإلكتروني عالي التردد والتي تم إدخالها حديثاً، إقلاعاً صامتاً وخالياً من الوميض اللحظي لمصابيح الفلوريسانت بنوعيها المفرد أو المزودج القياسي حتى طول 1800 mm، وكلاهما بقطر 26 mm و 38 mm. يستغني الكابح عن الحاجة للمقلع المستقل (المنفصل)، والخانق، والمكثفة. تتألف البنية الأساسية لهذا الكابح من مرشح توافقي، مقوم، ومبدل، وهذه الدارة مشابهة لتلك المستعملة في أضواء الطوارئ.

يعتمد مبدأ العمل على تحويل جهد مآخذ التغذية (ذات التردد 50 Hz أو 60 Hz) إلى جهد مستمر ومن ثم تحويله إلى تردد عالي حوالي 32 kHz، للعمل مع مصابيح الفلور. يستفيد كابح التردد العالي من خصائص مصابيح الفلور حيث يمكن الحصول على كفاءة عالية عند التردد العالي. يمكننا زيادة فعالية الإضاءة الكلية بمقدار 20% إلى 30% وذلك يعود إلى:

1. فعالية محسنة للمصباح عند العمل في الترددات العالية.
2. ضياعات منخفضة في طاقة الدارة.
3. يعمل المصباح بأداء أقرب للمثالية في معظم الأجسام المضيئة المغلقة.

على سبيل المثال، يمكن لمصباح 1800 mm ذي استطاعة مقدرة بـــ 70W (عند العمل مع وحدة تحكم قياسية) أن يعمل عند استطاعة 62 W مع الحفاظ على توليد نفس الخرج الضوئي. بالإضافة لذلك، تنخفض ضياعات الكابح - في حالة دارة مزدوجة لأنبوب بطول 1800 mm - من 26 W (دارة مفتاح المقلع) إلى 8 W فقط مع الكابح HF. بالتالي، سيكون الاستهلاك الكلي بالنسبة لدارة مزدوجة 70 W ولطول أنبوب 1800 mm بحدود 20% (أي 2x62+8=132W) وذلك بدلاً من 166 W (2x70+26 W). تمكّن ميزة توفير الطاقة هذه من المحافظة على سويات إضاءة مع انخفاض كبير في التكاليف الكهربائية.

عمل التيار المستمر: يمكننا استخدام مصابيح الفلور، إذا رغبنا بذلك، بتغذية تيار مستمر وذلك بحذف مكثفة عامل الاستطاعة العادية ووضع مقاومة مناسبة على

التسلسل مع الخانق. تقوم المقاومة باستهلاك قدرة واطية عادةً وتساوي بشكل خشن لتلك المستهلكة من قبل المصباح، إذاً، تكون كفاءة الإضاءة لهذه الدارة مساوية لنصف كفاءة دارة التيار المتناوب. يعطي الجدول (13.1) القيم المناسبة للمقاومة.

الجدول (13.1) مقاومات لعمل التيار المستمر.

الجهود V	قيم المقاومات Ω 1-80 W	1-40 W 1200 mm	1-30 W	2-40 W 600 mm	2-20 W	2-15 W
200	103	208	264	116	182	235
210	116	235	293	128	208	264
220	128	264	330	147	235	293
230	147	293	380	147	264	330
240	166	330	420	166	293	380
250	166	330	420	166	330	380

بعد فترة من العمل، فإن النهاية الموجبة للأنبوب يمكن أن تكتسب قتامة بسبب انتقال الزئبق إلى النهاية السالبة، وللتصدي لهذه النـــزعة فإنه من المعتاد ملاءمة مفتاح عكسي القطبية للدارة الفرعية، من المفضل أن يكون من النوع الدوار وباتجاه وحيد، وهذا فإن القطبية تتغير عند كل عملية تحويل (وصل/فصل). في هذه الحالة، يستخدم المقلع الحراري عادة.

إظهار اللون والتصيير اللوني: ليس بالضرورة أن يكون الخرج الضوئي لأنبوب الفلور هو الاعتبار الوحيد. هناك حالات تكون فيها عملية التصيير (rendering) (عملية التشكيل اللوني) الجيدة أكثر أهمية، وهناك العديد من الحالات التي يمكن استخدام الألوان "الفاخرة" ذات الدرجة الممتازة مثل Polylux من تأمين أجواء تحفيزية تعوض بشكل كبير الكلفة الإضافية التي تم إنفاقها. في بعض الحالات التي تكون عملية مطابقة الألوان الحرجة عملية هامة فإن أنواع الأنابيب Natural أو Kolor-rite قد تكون مناسبة لهذا الغرض.

مميزات التشغيل: تصدر مصابيح الفلوريسانت طاقة حرارية كلية تساوي ثلث الطاقة التي تصدرها المصابيح الفتيلية تقريباً، ومع ذلك فهي تعطي نفس كمية الإضاءة ولكن بخمس الطاقة الحرارية المشعة تقريباً. وتتغير نسبة الإضاءة بمقدار 1% كلما تغير جهد التغذية لها بمقدار 1% (مقارنة مع نسبة 4% بالنسبة للمصابيح الفتيلية). بشكل عام، بعد 5000 ساعة عمل، تكون نسبة الإضاءة الصادرة عن المصباح معادلة لـــ 85% من الإضاءة التي يصدرها بعد 100 ساعة.

تأثير حرارة العمل: تصمم مصابيح الفلور لتعمل في بيئة درجة حرارتها حوالي 25°C. إذا تم استخدامها عند درجات حرارة مرتفعة، سينخفض خرجها الضوئي وذلك بسبب الانخفاض في كمية الأشعة فوق البنفسجية التي يتم إصدارها وازدياد خطوط الزئبق المرئية والناتجة عن الارتفاع في ضغط البخار. تكمن إحدى الطرق المتبعة للتغلب على هذه المشكلة باستخدام مصابيح الأملغم (Amalgam) والتي تضم حلقة من الإنديوم قرب نهاية المصباح تمتص الزئبق مما يؤدي إلى تخفيف الضغط. والطريقة الأخرى هي استخدام تركيبات التهوية.

الجدول (13.2) مصابيح الفلور الأنبوبية.

تيار المصباح الأسمي، A	جهد الأنبوب الأسمي V	القطر، mm	الطول الفعلي، mm	طول المصباح الأسمي، mm	الاستطاعة التقديرية للمصباح، W
0.94	152	38	2389.1	2400	125
0.96	128	38	2389.1	2400	100
0.54	185	38	2389.1	2400	85
0.70	128	26	1778.0	1800	70
0.77	123	38	1778.0	1800	75/85
0.87/0.67	100/110	38	1514.3	1500	80/65
0.63	113	26	1514.3	1500	58
0.44	102	38	1213.6	1200	40
0.42	104	26	1213.6	1200	36
0.36	101	26	908.8	900	30
0.42	104	38	604.0	600	40

الجدول (13.2) /تابع/

تيار المصباح الأسمي، A	جهد الأنبوب الأسمي V	القطر، mm	الطول الفعلي، mm	طول المصباح الأسمي، mm	الاستطاعة التقديرية للمصباح، W
0.38	58	38	604.0	600	20
0.34	57	26	451.6	450	15
0.17	92	16	531.0	525	13
0.17	55	16	302.4	300	8
0.16	43	16	226.2	225	6
0.15	30	16	150.0	150	4
		العمق، mm		طول وعرض المصباح، mm	مصابيح ثنائية البعد
0.49	110	35		205	38
0.32	107	35		205	28
0.20	97	27		140	16

تسبب درجة حرارة الوسط المحيط هبوطاً في الخرج الضوئي بسبب تكاثف الزئبق على جدران الأنبوب. أما تغليف المصابيح ضمن غلاف واضح من الأكريليك فيساعد على الإبقاء عليها في شروط حرارية مناسبة حتى ولو عملت ضمن وسط محيط منخفض الحرارة.

الجدول (13.3) معلومات المصباح T5

الطول، (mm)	العمر الوسطي (hours)	المجموعة اللونية	درجة الحرارة اللونية (K)	فعالية الاستضاءة (lm/W)	إستضاءة المصباح (lm)	الاستطاعة التقديرية للمصباح،W
549	16 000	1B	3000/4000	96	1350	14
849	16 000	1B	3000/4000	100	2100	21
1149	16 000	1B	3000/4000	104	2900	28
1449	16 000	1B	3000/4000	104	3650	35

اكتشاف الأعطال (الخلل): يمكن تعقب الخلل في بعض أجزاء الدارة عن طريق مراقبة الظواهر التالية:

يتوهج المصباح باستمرار في كلتا النهايتين أو إحداهما. لكن لا يوجد أي جهد مبذول للإقلاع. في الحالة الأولى، يكون العيب في المقلع، في الحالة الثانية هناك تأريض في بعض أجزاء الدارة وكذلك يمكن أن يكون العيب في المقلع. في دارة الإقلاع الفورية (الآنية)، لا يملك المصباح قطعة تأريض، أو يكون التأريض ضعيفاً أو يكون جهد التغذية الرئيسي ضعيفاً. عند توهج إحدى النهايتين فقط يكون هناك عطل في المحول يقود إلى قصر أو فتح دارة المصباح عند إحدى النهايتين.

وميض متكرر للمصباح لكن بدون إقلاع. في هذه الحالة، إما أن يكون المقلع معطلاً بحيث لا يسمح بوقت كاف لتسخين المصباح أو أن يكون المصباح قديماً. في الحالة الأخيرة تكون إحدىً النهايتين أو كلتاهما قاتمة ويمكن أن يضيء المصباح بشكل طبيعي لعدة دقائق، ومن ثم ينطفئ بعد فترة من الوميض.

يضيء المصباح بشكل طبيعي لفترة قصيرة ثم ينطفئ ثم يعود للإضاءة وهكذا بشكل متكرر. في هذه الحالة، من المحتمل أن يكون السبب هو الانخفاض غير الطبيعي في جهد التغذية. وقد ينجم السبب أيضاً عن عيب بالمقلع.

التأثير الدوار للضوء في المصباح، قد يختفي هذا الأثر بعد عدة عمليات (فصل/وصل) على مصباح جديد. وإذا استمر الخطأ، يجب تغيير المقلع أما إذا استمر الخطأ، يجب تغيير المصباح عندئذ.

أنابيب الفلوريسانت ذات المهبط البارد: نوع آخر من أنابيب الفلوريسانت - النوع ذو المهبط البارد- يصنّع عادةً بشكل أنبوبي بقطر 20 mm مطلي بمسحوق الفلوريسانت ويملأ إما بالزئبق أو الأرغون أو النيون. وهو من نوع الجهد العالي، الذي يعمل من محول قفزة بدون أي فترة تأخير في عملية التحويل (الفصل/الوصل). يمكن أن يصل عمر هذه الأنابيب إلى 10000 ساعة عمل أو أكثر. وهي لا تتأثر بتردد عملية التحويل. تبدي الأنابيب المملوءة بالزئبق انخفاضاً اعتيادياً بالمردود خلال فترة صلاحيتها، لكن تبقى المصابيح المملوءة بالنيون ثابتة. تبقى الأنابيب من كلا

النوعين مضاءة حتى عند انخفاض قيمة جهد التغذية الرئيسي ويمكن أن يتم تعتيمه بجهاز مناسب.

تصنع مصابيح المهبط البارد على مجال عريض من الألوان القياسية بما فيها ضوء الشمس، الأبيض الدافئ، الأزرق، الأخضر، الذهبي، والأحمر. يمكن أن تستعمل الألوان بشكل منفصل أو بشكل ممزوج لتعطي أي خرج مرغوب، المصابيح الحمراء والذهبية تكون مفيدة بشكل خاص في تأمين ضوء دافئ متناغم.

إن انخفاض نسبة أي لون من المزيج سيؤدي إلى تغيير في اللون، وبما أنه يمكن إنتاج الأنابيب بأشكال ومنحنيات مختلفة، فهي مناسبة لأعمال الديكور والإنارة في المطاعم، الخ. يمكننا استخدام هذه المصابيح حتى في الحالات التي تتطلب جهداً عالياً في التشغيل.

أما المشاكل الرئيسية لها فهي عدم الكفاءة النسبية بالمقارنة مع مصابيح المهبط الساخن والحاجة للجهود العالية للإقلاع والتشغيل.

مصابيح الزئبق والهاليد المعدني: يمتلك طيف الزئبق أربعة خطوط معرفة بشكل جيد في المنطقة المرئية وخطان في المنطقة فوق البنفسجية غير المرئية. يستخدم الإشعاع لتهييج الفلوريسانس (Fluorescence) في بعض أنواع الفوسفور، الأمر الذي يعني إمكانية إعادة بناء بعض الألوان المفقودة (استعادتها) إلى الطيف. تزداد نسبة الضوء المرئي إلى فوق البنفسجي وكذلك ضغط البخار في أنبوب التفريغ، وبالتالي يكون تصحيح الألوان أقل فعالية في مصباح الزئبق ذي الضغط العالي منه لأنبوب الضغط المنخفض (الفلوريسانت). يشار لمصابيح الزئبق عالية الضغط بالاختصار (MBF) وتغطى زجاجة المصباح بمسحوق الفلوريسانت. تستخدم المصابيح MBF بشكل شائع حالياً في المكاتب والمتاجر وفي المواقع الداخلية حيث لم تكن مناسبة لهذه الغايات في السابق. في الآونة الأخيرة، تم إنتاج مصابيح تصيير أفضل مع زيادة طفيفة في الكفاءة، يشار إليها بمصابيح (MBF de-luxe) أو (MBF-DL) وهي حالياً بتكلفة تتجاوز تكلفة المصابيح (MBF) العادية بقليل.

الجدول (13.4) الخرج الضوئي القياسي لأنابيب الفلور (معلومات المصباح GE)

	المصباح	T5 16 mm ∅						T8 26 mm					
	الاستطاعة	**4**	**6**	**8**	**13**	**15**	**18**	**30**	**36**	**36**	**38**	**58**	**70**
	الطول mm	150	225	300	525	450	600	900	970	1200	1050	1500	1800
Triphosphor	**827 Polylux XL**					1050	1450	2500		3450			
	830 Polylux XL					1050	1450	2500		3450			
	835 Polylux XL						1450			3450			
	840 Polylux XL					1050	1450	2500		3450			
	860 Polylux XL						1450			3250			
Triphosphor	**827 Polylux**												
	830 Polylux			460					3100		3300		
	835 Polylux												
	840 Polylux			460					3100		3300		
5 Band	**930 Polylux Deluxe**											3750	
Phosphor	**940 Polylux Deluxe**											3750	
Standard	أبيض دافئ	150	300	400	B50	950	1225	2300		3000		4800	5800
Halophosphate	أبيض	150	300	400	850	950	1225	2300		3000	3050	4800	5800
	أبيض طبيعي											4100	
	أبيض بارد	150	290	380	800	900	1200	2250	2600	3000		4700	5700
	ضوء النهار					730	950	1700	1900	2400		3580	

الجدول (13.4) /تابع/

	المصباح	T12 38 mm Ø								Mod-U-Line®				Circuits®
	الاستطاعه	**20**	**40**	**65**	**75**	**85**	**100**	**125**	**20**	**40**	**22**	**32**	**40**	**60**
	الطول mm	600	1200	1500	1800	2400	2400	2400	265	525	209.5	311.5	412.6	412.6
Triphosphor	**827 Polylux XL**													
	830 Polylux XL													
	835 Polylux XL													
	840 Polylux XL													
	860 Polylux XL													
Triphosphor	**827 Polylux**													
Polylux	**830 Polylus**	1450	3350	5300	6700	8450	9400	10550						
	835 Polylux									3250				
	840 Polylux	1450	3350	5300	6700	8450	9400							
5 Band	**930 Polylux Deluxe**													
Phosphor	**940 Polylux Deluxe**													
Standard	أبيض دافئ	1225	3050	5000	5850					2875	1050	1875	2800	3700
Halophosphate	أبيض	1225	3050	5000	5850	7350	8600	9500		2875				
	ابيض طبيعي	1000	2375	3775	4650									
	أبيض بارد	1200	3000	4850	5700		8450	9300		2875	1000	1825	2700	
	ضوء النهار	950	2400	3700							875	1550	2500	

الجدول (13.5) خصائص المظهر اللوني والتصيير اللوني لمصابيح الفلور

لون الأنبوب	جودة الطلس اللوني	المظهر اللوني	التطبيقات
Poly lux XL 827 Warm White	جيد جداً ضعيف	دافئ دافئ	أنابيب بكفاءات مختلفة معدة للاستخدام في المواقع السكنية والمحلية الاجتماعية
Poly lux XL 835 White Plus White	جيد جداً ضعيف جيد	متوسط متوسط متوسط	أنابيب بكفاءات مختلفة لمصادر (منابع) ضوئية عامة لمناطق العمل، المتاجر، المصانع، المخازن....الخ.
Poly lux XL 840 Cool White Natural	جيد جداً ضعيف جيد جداً	بارد بارد بارد	أنابيب بكفاءات مختلفة معدة للاستخدام في مناطق العمل التي تحتاج لمصادر ضوئية للمزج مع ضوء النهار الطبيعي كالمكاتب والمتاجر،...الخ.
Deluxe natural	جيد	متوسط	الجزارون، باعة السمك، الأسواق المركزية، بغية إظهار الأجسام الحمراء.
Kolor-rite	ممتاز	بارد	متطابق مع متطلبات DHSS لإضاءة المشافي.
Northlight/Colour matching	جيد جداً	بارد	المناطق المعدة لملاءمة الأجسام، أي تطبيق يتطلب تأثيراً شتوياً أو انطباع بالبرودة.
Artificial daylight	ممتاز	بارد	مناطق ملاءمة الألوان الصحيحة. طلس لوني أفضلي مع مظهر لوني بارد. يحقق المظهر المواصفة BS 950 الجزء الأول.
Colours	ضعيف	-	مشبع للعرض، الإضاءة الكاشفة، الإضاءة المرحلية.

بإضافة هاليدات المواد المختلفة إلى الزئبق في أنبوب التفريغ نحصل على حلول أساسية أكثر لمشكلة التصيير اللوني. في المصابيح الهالوجينية المعدنية (ويشار إليها بالاختصار MBI) فإن عدد الخيوط الطيفية يزداد بشكل كبير وبذلك يمكن التوصل إلى طيف مستمر فعلياً من الضوء، ويتحسن التصيير اللوني بشكل كبير. إن إضافة مساحيق الفلوريسانت إلى الغلاف الخارجي (MBIF) لا تزال تحسن من خواص التصيير اللوني للمصباح إلى حد بعيد، والذي يكون مشابهاً لأنبوب الفلوريسانت

الطبيعي de-lux. تصنع مصابيح الهاليد المعدنية بشكل خطي مضغوط من أجل الإضاءة الكاشفة (MBIL) وفي هذه الحالة يتخذ جهاز تسليط الإضاءة المرفق مكان الغلاف الخارجي وبشكل مدمج جداً (CSI) وبطول قوس قصير حيث يستخدم لأجهزة العرض، أما عند تعليبه ضمن عاكس زجاجي مضغوط فيمكن استخدامه من أجل الإضاءة الكاشفة ذات المدى الطويل (كما في الصالات الرياضية).

بالإضافة لذلك، تم تطوير مصابيح الهاليد المعدنية وحيدة النهاية منخفضة القدرة الواطية (35~150 W) والمشار إليها بالاختصار (MBI-T) لتقوم بعملية تصيير لوني ممتاز لعرض الإضاءة، الإضاءة الكاشفة، والإضاءة المركزة للأشياء التجارية في الأماكن الداخلية.

الجدول (13.6) مصابيح التفريغ الكهربائية.

النوع	الاستطاعة	شكل البصيلة	الطول، mm	القطر، mm	lm التصميمي	الغطاء
Mercury MBF	50	بيضوي	129	56	1 900	E27 (ES)
	80	بيضوي	154	71	3 650	E27 (ES)
	125	بيضوي	175	76	5 800	E27 (ES)
	250	بيضوي	227	91	12 500	E40 (GES)
	400	بيضوي	286	122	21 500	E40 (GES)
	700	بيضوي	328	143	38 000	E40 (GES)
	1000	بيضوي	410	167	58 000	E40 (GES)
MBF-DL	80	بيضوي	154	71	3 650	E27 (ES)
	125	بيضوي	175	76	6 200	E27 (ES)
	250	بيضوي	227	91	13 300	E40 (GES)
	400	بيضوي	286	122	22 800	E40 (GES)
Mercury	250	مكافئ	260	166	10 500	E40 (GES)
-reflector	400	مكافئ	300	181	18 000	E40 (GES)
MBFR	700	مكافئ	328	202	32 500	E40 (GES)
	1000	مكافئ	380	221	48 000	E40 (GES)
Mercury	160	بيضوي	175	76	2 560	B22 (BC)
-tungsten	250	بيضوي	227	91	4 840	E40 (GES)
MBFT	500	بيضوي	286	122	11 500	E40 (GES)
Metal-MBIL	750	خطي	254	21	58 500	Rx75
halide	1000	خطي	254	21	110 000	Rx75
MBI-T	150	خطي (SE)	80	22	12 000	G12
CSI	1000	مكافئ	175	205	67 000	G38
MBIF	250	بيضوي	227	91	16 000	E40 (GES)
	400	بيضوي	286	122	24 000	E40 (GES)

الجدول (13.6) /تابع/

النوع	الاستطاعة	شكل البصيلة	الطول، mm	القطر، mm	lm التصميمي	الغطاء
	1000	بيضوي	410	167	85 000	E40 (GES)
High-pressure	50	بيضوي	154	71	3 100	E27 (ES)
sodium SON	70	بيضوي	154	71	5 300	E27 (ES)
	150	بيضوي	227	91	15 000	E40 (GES)
	250	بيضوي	227	91	25 500	E40 (GES)
	400	بيضوي	286	122	45 000	E40 (GES)
	1000	بيضوي	410	167	110 000	E40 (GES)
SONDL	150	بيضوي	227	91	11 000	E40 (GES)
	250	بيضوي	227	91	19 000	E40 (GES)
	400	بيضوي	286	122	33 000	E40 (GES)
SON-T	50	أسطواني	154	39	3 100	E27 (ES)
	70	أسطواني	154	39	5 500	E27 (ES)
	150	أسطواني	210	47	15 500	E40 (GES)
	250	أسطواني	257	47	27 000	E40 (GES)
	400	أسطواني	285	47	47 000	E40 (GES)
	1000	أسطواني	380	67	120 000	E40 (GES)
SONDL-T	150	أسطواني	210	47	11 500	E40 (GES)
	250	أسطواني	257	47	20 500	E40 (GES)
	400	أسطواني	285	47	34 000	E40 (GES)
SON. TD	250	خطي	189	24	25 000	2R×7s
	400	خطي	254	24	46 000	2R×7s
Low-pressure	18	خطي (SE)	210	53	1 750	B22 (BC)
sodium SOX	35	خطي (SE)	311	53	4 500	B22 (BC)
	55	خطي (SE)	425	53	7 500	B22 (BC)
	90	خطي (SE)	528	67	12 500	B22 (BC)
	135	خطي (SE)	775	67	21 500	B22 (BC)

يجب عدم بذل أي محاولة للإبقاء على المصابيح (MB) أو (MBF) في العمل عند كسر زجاجة المصباح الخارجية بشكل غير متعمد، لأنه في هذه الأنواع لا يمتص أنبوب تفريغ الكوارتز الداخلي أي إشعاعات كامنة خطرة والتي تكون عادة محجوزة بالزجاجة الخارجية للمصباح.

مصابيح الصوديوم: تعطي مصابيح الصوديوم منخفضة الضغط ضوءاً يظهر كأنه أحادي اللون. حيث أنها تقوم بإرسال الضوء الأصفر فقط بطول موجة وحيد، وتغيب جميع ألوان الضوء الأخرى. وبالتالي سوف تظهر الأشياء ذات اللون

الأبيض والأصفر باللون الأصفر، والألوان الأخرى تظهر مظللة بظلال متدرجة من الرمادي إلى الأسود. من ناحية ثانية، لهذه المصابيح كفاءة عالية جداً، وتستخدم على نطاق واسع في الشوارع حيث يكون الهدف الأساسي تأمين ضوء الرؤية بأقل تكلفة ممكنة، وكذلك تستخدم للإضاءة الكاشفة حيث يكون الضوء الأصفر مفضلاً أو مقبولاً. يتخذ أنبوب التفريغ شكل الحرف U ويكون محتوىً ضمن غلاف زجاجي مفرغ من الهواء يحافظ على الحرارة ويؤمن للصوديوم المعدني الموجود في الأنبوب قابلية التبخر بشكل كاف. يضرب القوس بشكل ابتدائي بالنيون، بحيث يعطي وهجاً أحمراً مميزاً، ومن ثُم يتبخر الصوديوم ويسيطر على التفريغ. تستخدم في بعض الأحيان محولات تسريب leakage transformers من أجل تأمين الجهد العالي نسبياً اللازم لإقلاع المصباح، والجهد الأخفض اللازم عندما يعمل المصباح بطاقة الإضاءة الكاملة، وهي عملية تدوم بحدود 15 دقيقة. تستخدم التطبيقات الحديثة مشعلات أو قادحات (ignitors) إلكترونية لإقلاع المصباح والذي يستمر فيما بعد في العمل على خانق كابح تقليدي. من جهة أخرى، يجب استخدام مكثفة تصحيح لعامل الاستطاعة على جانب التغذية الرئيسية للملف الأولي للمحولة.

يتوفر مصباح الصوديوم الخطي (SLI/H) بكفاءة 150 lm/W، وهو مستخدم في إضاءة طرق السيارات. الغلاف الخارجي مشابه لمصباح الفلوريسانت وله غطاء داخلي من الإنديوم للمحافظة على حرارة القوس. تم استبدال المصباح (SLI/H)، بسبب حجمه، بنسخ من مصابيح (SOX) ذات الحجم الأكبر.

قد يحترق الصوديوم المعدني عند تماسه مع وسط رطب، لهذا السبب، يجب بذل الكثير من الحرص الضروري لدى إتلاف وطرح مصابيح الصوديوم. والإجرائية الصحيحة تتم بتكسير المصابيح في حوض موجود في العراء وإغداق الماء عليها، وبعد فترة قصيرة يمكن إتلاف المخلفات أو البقايا بالطرق الاعتيادية.

تم زيادة معدل العمر الطبيعي لجميع مصابيح الصوديوم في الفترة الأخيرة إلى 4000 ساعة عمل مع استمرار السعي لزيادته إلى حدود 6000 ساعة عمل.

مصابيح الصوديوم SON عالية الضغط: في هذا النوع من المصابيح، يرتفع ضغط البخار في أنبوب التفريغ منتجاً ضوءاً ذا توزع طيفي أوسع، بالإضافة للتحسن المتتابع في جودة التصيير اللوني له. بالرغم من كونه ما زال ينحاز باتجاه اللون الأصفر، فإن الضوء مقبول تماماً لمعظم أغراض الإضاءة العامة ويسمح بتمييز الألوان بسهولة. كفاءة الإضاءة لهذه المصابيح عالية، تنتمي للمجال 100 lm/W ، وهي بالتالي تجد تطبيقاً معتبراً في المواقع الصناعية، إنارة الشوارع في مراكز المدن ومن أجل الإضاءة الكاشفة.

تتوفر ثلاثة أصناف من هذه المصابيح: الصنف الإهليلجي (SON) وفيه تغطى الزجاجة الخارجية بمسحوق ناشر ناعم بقصد الإضاءة العالية، الصنف الأسطواني أحادي النهاية بزجاجة خارجية للإضاءة الكاشفة (SON.T)، والمصباح الأنبوبي ثنائي النهاية (SON.TD) المصمم أيضاً من أجل الإضاءة الكاشفة ومحدد الأبعاد، ولهذا يمكن استعماله في العواكس الخطية المكافئة لمصابيح التنغستين الهالوجينية. هذا النوع يجب استخدامه بشكل دائم في الأماكن المغلقة. العنصر الحرج لمصباح (SON) هو أنبوب التفريغ. وهو مصنوع من أكسيد الألمنيوم الملبد ليقاوم الفعل الكيميائي لبخار الصوديوم الساخن المتأين، وهي مادة صعبة جداً للعمل. أثمرت الأبحاث الأخيرة التي أجريت في المملكة المتحدة عن طرق تحسين ختم الإلكترودات في الأنابيب، قادت إلى إنتاج مصباح بمعدلات استطاعة أدنى، وصلت إلى 50 W، وأدت بالتالي إلى توسع كبير لفوائد هذه المصابيح.

تحتاج معظم أنواع المصابيح لبعض أشكال أدوات الإقلاع التي يمكن أن تتخذ شكل قادح نبضة كهربائية خارجي أو مقلع داخلي. يعرض المصنّعون مجالاً من مصابيح (EPS) المزودة بمقلعات داخلية، ومجالاً آخراً يمكن استخدامها فيه كبدائل مباشرة للمصابيح (MBF) ذات معدلات الاستطاعة المشابهة. ربما تحتاج لتعديلات بسيطة فيما يتعلق بكبح التفريغ، وقيم مكثفة تصحيح عامل الاستطاعة وتحديث عزل الأسلاك لمقاومة نبضة جهد الإقلاع. تحتاج المصابيح ذات المقلعات الداخلية إلى 20 دقيقة تقريباً للإقلاع في حين تسمح المصابيح ذات القادح الإلكتروني بإعادة إقلاع ساخنة في حدود دقيقة واحدة.

تم إجراء أبحاث كثيرة في مجال كفاءة وخصائص التصيير اللوني لهذه المصابيح ولا تزال التحسينات مستمرة بالظهور. قادت التطورات الأخيرة لإنتاج مصابيح (SON de-luxe) على حساب بعض الكفاءة وتخفيض صغير في مدة الصلاحية، وتم الحصول على تصيير لوني أفضل إلى حد بعيد. وقد بدأ استخدامها يتنامى في المكاتب والمتاجر وكذلك في التطبيقات الصناعية.

المصابيح التحريضية Induction lamps: تماثل المصابيح التحريضية مصابيح الفلوريسانت الأنبوبية. وهي تحتوي على الزئبق بضغط منخفض والذي يصدر أشعة فوق بنفسجية لدى تعرضه للتهييج. يقوم طلاء الفوسفور بامتصاص هذه الأشعة وإعادة إصدارها كأشعة مرئية. على أية حال، وبخلاف مصباح الفلوريسانت، لا يمتلك المصباح التحريضي إلكترودات ويتم خلق التفريغ بواسطة حقل مغناطيسي متولد خارج زجاجة المصباح. تمتلك الزجاجة جذعاً مركزياً مجوفاً، وهوائي في مركز المصباح، يشابه هوائي الإرسال الراديوي الصغير.

بسبب عدم وجود إلكترودات، فإن عمر المصباح لا يعتمد على الإصدار الأيوني البدائي من طلاء المهبط (القطب السالب). تعمل هذه المصابيح عند تردد عالٍ ولهذا هناك القليل من الرجفان. وجد المبدأ تطبيقاته في مصباح (Philips QL) الذي يعمل انطلاقاً من مجموعة تحكم إلكترونية خاصة منفصلة. يتم ختم الطلاء الفوسفوري ضمن سطح الزجاجة وبالتالي لا ينخفض أداءه بسبب تلوث الزئبق. أما معدل عمر المصباح هو 60000 ساعة عمل.

عمر المصابيح وخرجها الضوئي: لدى حدوث فشل لمصباح متوهج قبل انتهاء عمره بفترة طويلة، لا يحدث انخفاض كبير في خرجه. بالفعل، في مصباح التنغستين الهالوجيني لا يوجد اختلاف بين الخرج الضوئي لمصباح جديد وللمصباح عند نقطة انهياره. وهذا ليس، بأي حال من الأحوال، وضع مصابيح التفريغ، بما فيها أنابيب الفلوريسانت، التي تعمل غالباً لساعات عديدة أطول من معدل عمرها المتوقع، ويمكن في النهاية أن تثبت عدم جدواها الاقتصادية في الاستخدام، لأنه بالرغم من استمرار جرّها لنفس كمية الطاقة تقريباً، فإن خرجها الضوئي يمكن أن يخفت إلى أجزاء من القيمة الأصلية.

بالنتيجة، لا ينشر معظم المصنّعون البريطانيون والأوربيون أرقام العمر لهذه الأنواع من المصابيح، غير أنهم ينشرون منحنيات اللومن وانتهاء الصلاحية للمصباح لإبراز المعدل الذي يمكن التوقع من خلاله ضعف الخرج الضوئي خلال الاستعمال والنسبة المئوية للانهيارات التي قد تقع ضمن مجموعة نموذجية.

عند أخذ هذه العوامل بعين الاعتبار وربطها مع احتمال التلف التدريجي لسطوح الأسقف العاكسة، الجدران والأرضيات وتراكم الأوساخ على السطوح العاكسة ومشتتات المنابع الضوئية، يصبح من الممكن تحديد النقطة التي يجب استبدال المصباح عندها. يبين الشكل (13.6) المنحنيات النموذجية للأنواع المختلفة لمصابيح التفريغ.

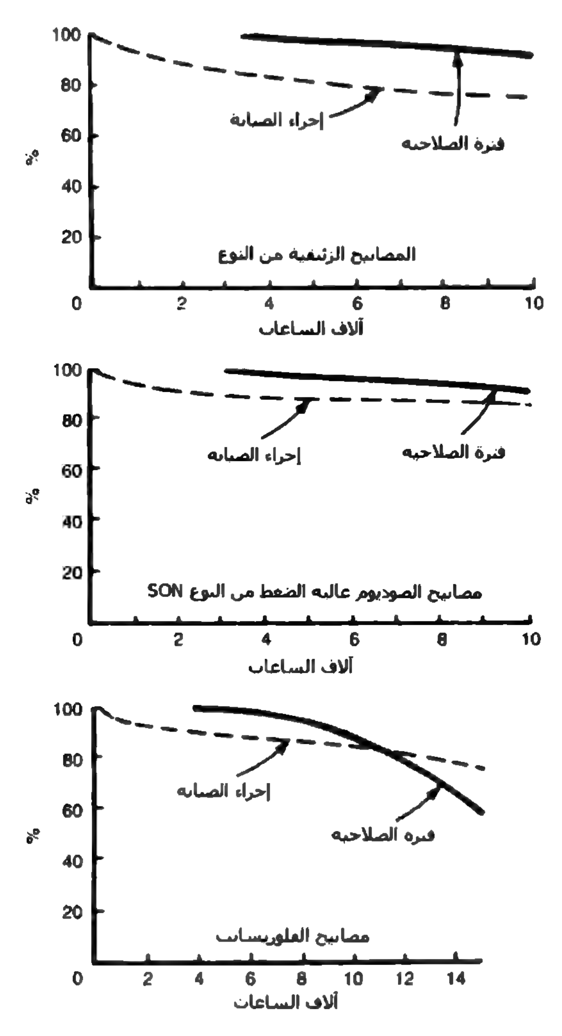
لا يتعلق انهيار أنبوب الفلوريسانت بانهيار الفتيلة أو المهبط. فهو يقع بشكل عام عندما تتوقف مادة المهابط المصدرة للإلكترون عن إنتاج الإلكترونات بكميات كافية تسمح بضرب المصباح. من علامات انتهاء فترة صلاحية المصباح ظهور وهج شديد الاصفرار في إحدى نهايتي الأنبوب واسوداد قاسٍ لكلتا نهايتي الأنبوب. قبل حدوثِ ذلك، على أية حال، فإن انخفاض الخرج الضوئي للفوسفور سيولد انخفاضاً في الإضاءة الكلية إلى مستويات غير اقتصادية. لهذا السبب يتم استبدال الأنابيب عادةً قبل موعد انهيارها بالفعل.

تقنيات الإضاءة الداخلية

أنواع التركيبات (التجهيزات): يجب اختيار التجهيزات استناداً إلى نوعيتها من النواحي التالية: الإظهار، توزع الضوء، السطوع، سهولة التركيب، إعادة الإضاءة، التكلفة، والكفاءة الضوئية. يختلف ترتيب هذه الأولويات باختلاف التطبيقات، لكن بشكل يحتل فيه التوزع الضوئي صدارة هذه الأولويات.

تصنف التجهيزات كتوجه مباشر بشكل رئيس لتقدم معظم نورها في اتجاه واحد. يجب على أي مصباح معطى منتمي لأي صنف، تقدم شدة الاستضاءة الأعلى لكل واط من الدخل الكهربائي، مع بعض الإمكانية للتوهج إما مباشرةً من المصباح أو بشكل غير مباشر عن طريق الانعكاس الصادر عن السطوح الصقيلة،

مع الميل للظلال القوية والعميقة، لكن بوجود إمكانية ضمان ورود الضوء بالاتجاه المطلوب لأي وضعية عمل خاصة كما هو مطلوب مثلاً في مكاتب الرسم.



الشكل (13.6) الأداء النموذجي في شروط المختبر

من الناحية الأخرى، توجه غير مباشر بشكل رئيس، فإن التجهيزات التي تعطي كل نورها بشكل تفريقي باتجاه الأعلى، ذات خصائص معاكسة. يمكن أن تكون الإضاءة غير المباشرة، والتي تدعى أيضاً بالإضاءة باتجاه الأعلى، نظاماً فعالاً يقاس بشدة الاستضاءة لكل واط، وليس هناك إمكانية توهج فيما عدا تلك الواردة من السقف عند شدة الاستضاءة العالية، الظلال ناعمة جداً وضعيفة، ويتم استقبال الضوء في كل نقطة عمل بشكل متعادل من كافة الاتجاهات على حد سواء.

الصنف المتوسط بين هذين الصنفين الحديين هو صنف الانتشار العام للجهاز والذي يتمتع بمميزات وسيطية. تستخدم الإضاءة المباشرة بشكل دائم تقريباً للصناعة ولعرض المقتنيات في المتاجر، حيث تعطي شعوراً بالانتعاش المفعم بالحيوية والإثارة يقوم على مبدأ تركيز الضوء والظل مما يؤدي إلى تمييز المقتنيات بشكل جيد.

تعتبر الإضاءة غير المباشرة أكثر راحةً واستعمالاً عادةً، وتستخدم بشكل رئيسي في المطاعم والفنادق والأماكن الإجتماعية الداخلية الأخرى، وباجتماعها مع الإضاءة المباشرة من أجل العديد من أنواع المتاجر بالرغم من شيوعها المتزايد لاستخدامات إضاءة المكاتب. تدعى بالإضاءة العلوية وتجهز بمصابيح (MBIF) أو (SON-DL) وتستخدم الإضاءة المنتشرة أو المباشرة بشكل عام في المكاتب والمدارس.

المباعدة بين التركيبات (الأجهزة): في معظم الأماكن الداخلية التي تحتوي على العديد من أجهزة الإضاءة، يكون الهدف عادةً، هو تأمين الإضاءة العامة، أي، نسبياً حتى الإضاءة في مستوى العمل في جميع أنحاء الغرفة. وهذا ما يسمح بإضافة أو إزالة الأثاث والنباتات من دون تغيير التركيبات الضوئية. المباعدة الكبيرة بين التركيبات ستعطي تأثيراً معتماً نسبياً بين البقع الضوئية، في حين ستكون المسافات الضيقة غير الضرورية غير اقتصادية.

كقاعدة عامة، تستخدم عادةً تركيبات مصابيح الفلوريسانت والأنواع الأخرى للإضاءة العامة، بحيث يمكن الحصول على شدة إضاءة مقبولة عندما تتباعد التركيبات بمسافات لا تزيد عن الحد الأعلى المسموح للمباعدة مضروبةً بالمسافة فوق سطح العمل وذلك في كلا الاتجاهين المحوري والمستعرض.

تصميم الإضاءة الداخلية: ليس الغرض من هذا القسم تقديم معلومات معمقة حول تصميم تركيب إضاءة متكامل، ولكن ليعطي توجيهاً عاماً حول المسألة. تستند إحدى طرق التصميم على حساب عدد لومنات المصباح اللازمة لذلك، ومنه، بالاعتماد على مصدر الضوء، عدد الأجهزة، وشروط التركيب، وتخطيط أو خطة التركيب.

يعطي حداء المساحة المراد إنارتها مع شدة الاستضاءة المطلوبة إجمالي اللومنات المطلوبة في موقع العمل، تؤخذ عند نقطة على ارتفاع 0.85 m فوق مستوى الأرضية.

على سبيل المثال، إذا كانت لدينا غرفة بأبعاد 10 m×25 m يراد لها شدة استضاءة بمقدار 1000 lux، فإن إجمالي اللومنات المطلوبة في موقع العمل سيكون 10×25×1000=250000 lm. بسبب امتصاص الضوء من قبل الجدران، السقف والأرضية ومن تجهيزات الإضاءة بحد ذاتها، فإن عدد اللومنات المشعة أو المنطلقة (الصادرة) عن المصابيح يجب أن يزيد عن 250000. تدعى نسبة العدد الفعلي من اللومنات الواصلة لموقع العمل في مساحة خاصة إلى عدد اللومنات الصادرة عن المصباح بالسعة المستخدمة Utilance أو معامل الاستخدام. بالإضافة إلى وجوب اعتبار بعض السماحية في الحساب لتأثير الأوساخ والغبار على التركيبات بحد ذاتها.

علاقة حساب لومنات المصباح الكلية هي:

$$F = \frac{E_{av} \times A}{UF \times M \times Abs}$$

حيث F اللومنات الإجمالية، E_{av} معدل شدة الاستضاءة (lux)، A المساحة المراد إنارتها (m^2)، UF معامل الاستخدام، M معامل الصيانة، Abs عامل الامتصاص والذي يمكن إهماله إلا في حالة المحيط المغبر جداً.

الخطوة التالية هي حساب عدد المصابيح والتركيبات (الأجهزة) اللازمة. هناك علاقة وثيقة بين المسافات وارتفاع التركيب لتجهيزات الإضاءة. المسافة العريضة جداً تسفر عن شدة إضاءة متناقصة بين التجهيزات. يرتبط عادةً الحد الأعلى الفعلي لنسبة المسافة إلى ارتفاع التركيب الذي يمكن استخدام الجهاز عنده مع جداول UF للجهاز ذاته. ويجب عدم تجاوز هذه القيمة في الشروط الطبيعية. المثال

القادم يستند إلى أجهزة (Thorm Diffusalux) مع قيمة عظمى لنسبة المسافة إلى الارتفاع مقدارها 1.67.

يصل غالبية مهندسو الإضاءة إلى العدد الأصغري للأجهزة اللازمة عبر القيام بعملية توزيع لهذه الأجهزة على المستوي. أو يمكنهم استنتاج هذا العدد من العلاقة:

$$\frac{L}{MS}\times\frac{W}{MS}$$

حيث تمثل L و W طول الغرفة وعرضها (m)، MS المسافة العظمى بين التجهيزات (m). كل جزء من المعادلة يمكن تقريبه بشكل مستقل إلى العدد الكلي الأقرب الذي يتجاوز الجواب الفعلي.

بعد حساب لومنات كل جهاز، يتم تحديد عدد المصابيح أو الأنابيب ومجالها من الجداول التي تعطي خصائص هذه المصابيح (راجع ما سبق من هذا الفصل).

فيما يلي مثال تطبيقي يصور استثماراً للمعلومات الواردة أعلاه. يقترح هذا المثال إنارة مكتب بطول 15 m وبعرض 10 m إلى شدة استضاءة 400 lux باستخدام أنابيب الفلوريسانت، ارتفاع السقف 3 m ويقوم بعكس 80%. ارتفاع طاولة المكتب 1 m. انعكاسية الجدران 30% ولكن بسبب النوافذ الممتدة على كلا الجانبين، ينخفض معدل الانعكاسية إلى 10% مع انعكاسية 20% للأرضية. السقف غير محجوب بالأشعة. المسافة الأعظمية المسموحة هي 3.34 m (القيمة العظمى لـ SHR تساوي إلى 1.67 مضروباً بالارتفاع فوق سطح العمل، والذي هو 2 m، إذاً 1.67×2=3.34). إن ذلك يتطلب 12/9 جهاز من العلاقة أعلاه، لكن الترتيب الأفضل الذي يمكن تنفيذه داخل الغرفة من هذا الشكل هو ثلاثة خطوط من تركيبات (أجهزة) الفلوريسانت، يجعل الإجمالي 9. دليل الغرفة هو 3 إذا ما أخذ الارتفاع فوق مستوى العمل على أنه 1 m. (ملاحظة: يتم حساب دليل الغرفة من العلاقة الواردة أعلاه). إذا استخدمت أجهزة (Thorm Diffusalux) مع نواشر موشورية وتم تركيبها على السقف، يمكن الحصول على معامل استخدام 0.72 لمصباح مفرد و 0.62 لمصباح مزدوج. من العلاقة $F = E_{av}\times A/UF\times M\times Abs$ نجد

بأن اللومنات الكلية اللازمة هي 60000 (مساحة الأرضية 150 m² × 400 lux)
مقسمة على عامل الاستخدام (0.62 للمصباح المزدوج)، وعامل صيانة 0.8. (يمكن
إهمال Abs إذا كان الوسط نظيفاً). إن ذلك يعطينا الرقم التقديري 121000 المعبر
عن اللومنات والذي يقسم على 12 جهاز، ينتج 10083 لومن لكل جهاز أو 5042
لومن لكل مصباح.

يعطي الأنبوب الأبيض (Polylux 1500 mm 58 W) 5400 lm، وبالتالي يمكننا
استخدام 12 جهاز، كل منها يحمل مصباحين بهذا المعدل. لاحظ أنه من حين
لآخر يمكن أن يكون عدد الأجهزة المركبة أعلى من العدد الأصغري المحسوب.
يمكن أن يقع ذلك عندما لا تتوفر الأجهزة اللازمة لتأمين خرج اللومن المطلوب أو
عند تحديد مصباح أو أنبوب معين ليسمح بتوحيد عملية استبدال المصابيح أثناء
عملية التركيب

عامل الصيانة Maintenance factor: تتناقص إضاءة الطوابق ضمن مبنى ما بشكل
تدريجي بسبب تراكم (تكدس) الأوساخ على النوافذ، على سطوح الأجهزة
والغرفة، وكذلك بسبب هبوط خرج اللومن للمصابيح ذاتها. لذلك، تتغير شدة
الإضاءة بشكل مستمر، وتنخفض بسبب الاستهلاك ولكن يمكننا إعادة الوضع إلى
ما كان عليه عن طريق التنظيف وإعادة ترتيب الأثاث بالإضافة إلى تغيير المصابيح.

لدى تصميم تركيبات (تجهيزات) إضاءة صنعية وطبيعية، يتم وضع سماحية إضافية
من أجل الاهتلاك بضم عوامل مناسبة في علاقة التصميم كما مر مسبقاً. الجداول
الواردة في هذا الفصل التي تعطي شدات الإضاءة الموصى بها هي لشروط خدمة
متوسطة وكذلك الأمر بالنسبة للعوامل فقد أقرت لتأخذ بعين الاعتبار المصباح،
واهتلاك سطح الغرفة والجهاز بالشروط الوسطية. يعرف عامل الصيانة M على أنه
نسبة شدة الإضاءة التي يوفرها الجهاز بالشروط الوسطية للوساخة المتوقعة أثناء
الخدمة إلى شدة الاستضاءة من نفس الجهاز عندما يكون نظيفاً. تعتبر عملية اختيار
عامل الصيانة لجهاز معقدة إلى حد ما، وعلى القارئ العودة إلى النشرة التقنية IES
No.9 لعام 1967، والتي أعيد طبع نسخة معدلة منها، يورد الجدول (4.8) مختصراً
عنها من ترميز CIBSE لعام 1994.

تنظيف التجهيزات: يمكن تعويض الخفوت في الخرج الضوئي والناتج عن الأوساخ الملتقطة على سطوح التحكم بالضوء للجهاز بشكل كامل عبر التنظيف. فترة التنظيف الاقتصادية الأمثلية (T) هي تلك التي تعادل فيها كلفة ضياع الضوء بسبب الأوساخ على الجهاز إلى كلفة تنظيف الجهاز وتعطى بالعلاقة:

$$T = \frac{-C_c}{C_a} + \sqrt{\frac{2C_c}{C_a \Delta}}$$

حيث C_c كلفة تنظيف الأجهزة لمرة واحدة، C_a الكلفة السنوية لعمل الأجهزة دون تنظيف، Δ النسبة المتوسطة النظرية لانخفاض التدفق الضوئي الناتج عن تراكم الأوساخ وتقلص الضوء من الأنبوب. Δ يمكن أن تحسب من العلاقة:

$$\Delta = (E_0 - E_1)/(E_0 \times T)$$

حيث E_0 الإضاءة الابتدائية، E_1 الإضاءة الدنيا بعد فترة زمنية T مقدرة بالسنوات.

تقنيات الصيانة: تقع تقنيات صيانة الإضاءة في ثلاثة مجموعات: تبديل المصابيح، تنظيف التجهيزات، وتنظيف وإعادة طلاء سطوح الغرفة. التبديل الموضعي للمصابيح الفتيلة لن يدعو إلى أي تعليق، ولكن مصابيح التفريغ يجب تبديلها بسرعة كبيرة كلما كان ذلك ممكناً بعد أن تنهار لمنع أو لتجنب ضرر مجموعة التحكم الملحقة. إذا أقرت عملية تبديل لزجاجات المصابيح، يجب أن يتم ذلك لدى بلوغ الانهيار حوالي 20% من القيمة الإجمالية.

بشكل مختلف، يمكن استبدال الزجاجة عند انخفاض شدة الإضاءة إلى ما دون المستوى المقبول والذي لا يجب أن يكون أقل من القيمة الدنيا المعرفة في النشرة الفنية IES No.9 . من جهة أخرى، يجب غسل جميع الجدران الداخلية، والجدران الفاصلة والأسقف لمرة واحدة على الأقل كل 14 شهراً، وأن يتم تبييضها كل 14 شهراً أو إعادة طلائها كل سبع سنوات. أما السطوح المزخرفة بطلاء قابل للغسل بالماء يجب إعادة طلائها كل ثلاث سنوات.

تقنيات الإضاءة الكاشفة

لهذا الشكل من الإضاءة الخارجية ثلاثة تطبيقات رئيسية: (a) للأغراض الصناعية، بمعنى آخر إضاءة تحويلات السكة الحديدية وساحات المنتجات والأعمال الإنشائية في الهواء الطلق، (b) لأغراض الديكور كإضاءة المباني والتماثيل والحدائق في المناسبات الخاصة، (c) للرياضات الخارجية.

الإضاءة الكاشفة الصناعية: كافة مصابيح التفريغ عالية الضغط المعروضة في الصفحات السابقة مناسبة لهذا النوع من التطبيقات. مصباح (SON) على سبيل المثال مستخدم بشكل شائع لإضاءة المساحات بشكل كبير، ومصابيح (SON.TD) أو (MBIL/H) مستخدمة في السطوح العاكسة المكافئة المصممة بدقة، ومستخدمة أيضاً للإضاءة الكاشفة الصناعية ذات المسافة الطويلة.

مرافئ أرصفة التحميل: لإضاءة كل من أرصفة رسو السفن والمرافئ، تمتلك أجهزة تسليط الإضاءة الكاشفة العديد من الإيجابيات بالنسبة للتجهيزات القديمة "العنقودية". تضمن مرونتها وكفاءتها العالية بسهولة بأن الإضاءة ستكون كافية على منطقة العمل. كقاعدة عامة، يجب أن تركب أجهزة تسليط الضوء على مستو عالي فوق منصة الرافعة أو العابر، وتوفر التسهيلات من أجل نشر وتوجيه الأشعة لتلبي ضرورات العمل.

محطات تحويل السكة الحديدية، التحويلة، ...، الخ: أتاح دخول الإضاءة الكاشفة توزيع مستوى أكبر للضوء المراد الوصول إليه أكثر مما كان محتملاً مع التركيبات المثبتة على مناصب قصيرة وخفف خطر الحوادث إلى حد كبير. أما الإجراء العام المتبع فهو بتركيب أجهزة تسليط الضوء على عارضات لا يقل ارتفاعها عن 13 m.

مواقع بناء السفن، الأعمال الإنشائية: هنا يطلب مستوى منخفض نسبياً من الإضاءة في المناطق الشاملة وكثافة عالية عند نقاط محددة. يجب أن تركب أجهزة تسليط الضوء عالياً لتجنب التوهج ويجب أن تكون متوضعة على بناء المرسى.

يجب استخدام التركيب العالي للأدوار المشابهة لإضاءة المباني قيد الإنشاء. تعد الإضاءة الكاشفة المخطط لها بمهارة مساعدة قيمة لمقاولي الأبنية الحديثة في سباقهم ضد الزمن.

تصميم الإضاءة الكاشفة الصناعية: تعتمد كمية الضوء اللازم لأي من هذه التطبيقات الصناعية على طبيعة العمل الجاري تنفيذه. تعطى شدة الإضاءة اللازمة للعمليات التصنيعية في الجدول (13.7). يمكن حساب حجم المصباح اللازم بالأخذ بعين الاعتبار المساحة أو المنطقة المراد إنارتها، شدة الإضاءة، عامل الاستهلاك (الاهتلاك)، وعامل الأشعة لجهاز تسليط الضوء الخاص المفروض استخدامه. في مثل هذه الحالات، فإنه من غير المفروض دائماً اعتبار المساحة الأفقية على أنها سطح يجب إنارته.

الجدول (13.7) القيم الموصى بها لشدة الاستضاءة

التوصيات المعتمدة في هذا الجدول مأخوذة من الترميز CIBSE للعام 1994. لتفاصيل أكبر عن هذه التوصيات ينصح القارئ باستشارة الترميز بحد ذاته.

مجموعة المهام النموذجية للمواقع الداخلية	شدة الاستضاءة القياسية (lux)
مناطق التخزين وغرف الاستنبات حيث لا يوجد عمل مستمر	150
العمل العادي، العمل القاسي	200
عمل الآلات القاسي والتجميعي العمل الروتيني	300
مجموعة المهام النموذجية للمواقع الداخلية	**شدة الاستضاءة القياسية (lux)**
المكاتب، غرف التحكم، المكننة المتوسطة والتجميعية طلب العمل رسم الخطة بعمق أو مكاتب مكننة العمل	500
تفتيش الآلات المتوسطة العمل الدقيق	750
التمييز اللوني، معالجة المنسوجات، المكننة الدقيقة والتجميعية العمل الدقيق جداً	1000
الحفر اليدوي، التفتيش على الآلات الدقيقة والتجميع العمل الدقيق	1500
التفتيش على التجميعات الدقيقة جداً	3000

الإضاءة الكاشفة التزيينية (أعمال الديكور): من الضروري في هذا التطبيق في البداية تقرير معدل الإضاءة المطلوب. وهذا يعتمد بشكل طبيعي على عامل الانعكاس، والذي يعتمد بدوره على بنية أو مادة السطح وفيما إذا كان نظيفاً أم لا. من أجل حجر Portland النظيف، فإن هذا العامل هو 60% والذي ينخفض إلى 20% إذا كان السطح متسخاً. في نهاية سلم القياس الأخرى، فإن الآجر الأحمر النظيف يملك عامل انعكاس 25%، يتناقص إلى 8% إذا كان متسخاً. مسألة ترتيب أجهزة تسليط الضوء اللازم يجب اعتبارها بعناية. نادراً ما تكون الإضاءة المباشرة من الجهة المواجهة مقنعة، بينما تكون الإضاءة من زاوية ممتعة أكثر. نادراً ما تنجح إنارة الأسطح المصقولة باستخدام الإضاءة الكاشفة، لأن هذه السطوح تميل للتأثير كالمرايا المستوية وبذلك تنتج صورة للضوء الكاشف. إحدى التقانات المتبعة تعتمد على إضاءة الأجسام مقابل السطوح المصقولة كي تبرز في الصورة الظلية.

كرة القدم والرياضات الأخرى: يمكن إنارة مناطق الممارسة العملية أو التدريب العادية من جانب واحد بواسطة أجهزة تسليط الضوء ذات قدرة واطية منخفضة تحوي على مصابيح التنغستين الهالوجينية (مثل 'Thorm 'Halines) تركب على أعمدة بارتفاع 4-5 m، غير أن المساحات التي تقام فيها البطولات تتطلب شدة إضاءة أعلى وتحكم شديد أكثر بالتوهج. ينصح بتركيب الأضواء على ارتفاعات 10 m على الأقل وعلى المنطقة أن تنار من كلا الجانبين.

تنار ملاعب كرة القدم وفقاً للقيم القياسية العليا، وبشكل خاص عندما يكون من المحتمل نقل المباريات تلفزيونياً. الطريقة الأكثر شيوعاً لإضاءة المساحة بواسطة مصابيح (CSI) أو (MBIL) أو (SON de-luxe) باستطاعة 2000 W. تركب على أبراج بارتفاع حتى 20 m في زوايا الملعب. وبشكل آخر، يمكن أن تركب المصابيح على أحد سقوف المنصات أو على أبراج مبتورة مركبة عليها.

إضاءة النجاة والطوارئ: بموجب قانون الإجراءات الاحترازية ضد الحريق لعام 1971 وقانون السلامة الصحية في العمل لعام 1974، عرضت المواصفة BS EN 1838:1999

ذات العنوان "قواعد ممارسة الإضاءة الطارئة للمباني" معايير قياسية دنيا. تختلف ترجمة هذه المعايير من جهة لأخرى. تعرف التجهيزات والمتطلبات كالتالي:

تعريف التعابير: الهدف الأساسي للتشريع القانوني ودعم الوثائق كالمعايير البريطانية، ترميزات المزاولة وتعليمات السلطات أو الجهات المحلية هو تشجيع توحيد في تطبيقات إضاءة الطوارئ على المستوى الوطني. فيما يلي عدد من التعابير ومعانيها ذات الصلة:

إضاءة الطوارئ Emergency lighting: الإضاءة من مصدر مستقل غير مرتبط بمصدر التغذية الرئيسي والتي تستمر حتى بعد انهيار الإنارة الاعتيادية للمباني. قد تمتد مثل هذه الإضاءة للأغراض الاحتياطية أو للنجاة.

الإضاءة الاحتياطية Standby lighting: الإضاءة الاحتياطية هي إضاءة طارئة، يتم تغذيتها من مصدر مستقل عن التغذية الرئيسية، تعمل أثناء تعطل أو انقطاع الطاقة لتتيح استمرار بعض الأنشطة الأساسية.

إضاءة النجاة Escape lighting: إضاءة تغذى من مصدر مستقل، يتم تشغيلها وبشكل فوري في حالة انقطاع الطاقة، ليصار إلى إخلاء المبنى بسرعة وبأمان.

المصادر الضوئية الثابتة Substained luminaire: تجهيزات إضاءة تحوي مصباحين على الأقل، يتم تزويد أحدهما بالطاقة من مصدر التغذية الرئيسي، والمصباح الآخر من مصدر تغذية إضاءة الطوارئ.

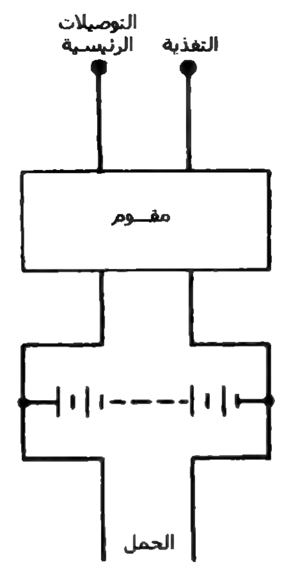
مصدر ضوئي قائم بذاته أو لافتة Self-contained luminaire or sign: مصدر ضوئي أو لافتة يضم جميع وحدات التحكم المرتبطة ويحتاج فقط إلى وصل مع مصدر التغذية العادية.

المصدر الضوئي التابع أو اللافتة Slave luminaire or sing: وهي مصادر تعمل وفق نظام تحكم مركزي.

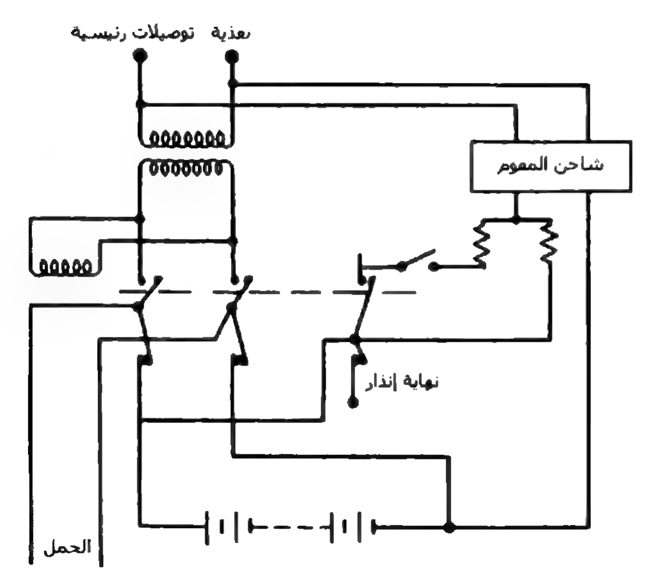
النظام المصان Maintained system: في نظام إضاءة طارئة مصان بشكل جيد، تبقى نفس المصابيح مضاءة بغض النظر عن تعطل تغذية الإضاءة العادية أم لا. يمكن

تغذية الأنظمة المصانة جيداً بالطاقة من نظام بطارية عائمة، والذي يعني ارتباط شاحن البطارية ومقوم الطاقة على التوازي مع البطارية والحمل الشكل (13.7). نادراً ما يستعمل هذا النظام، وذلك لأن الجهد العائم المرتفع يؤدي إلى تقصير عمر المصباح، وإلى نهاية تفريغ منخفضة للخرج الضوئي. يمكن استخدام مفتاح نقل آلي لربط البطارية إلى أطراف الحمل في مرحلة انهيار التغذية العادية الشكل (13.8).

حالياً تم استبدال الشاحن من النوع المفرغ بنوع آخر ثابت الجهد ولكن النوع السابق ما زال مصادفاً في بعض التطبيقات. يوفر النظام المصان بالبطارية العائمة التيار المستمر لأطراف الحمل. تتم تغذية دارة مفتاح النقل بشكل طبيعي بالطاقة عن طريق محولة تخفيض متدرج معزولة، وتوفر جهد متناوب منخفض حتى لحظة انهيار التغذية حيث يقوم المفتاح بوصل البطارية إلى أطراف الحمل وهذا ما يؤمن تيار مستمر أثناء تعطل التغذية.



الشكل (13.7) دارة منظومة بطارية مفردة عائمة



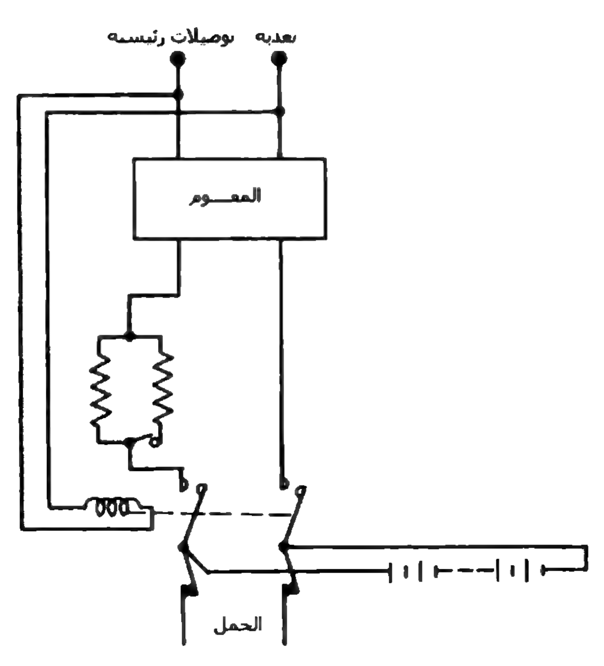
الشكل (13.8) دارة مفتاح أوتوماتيكي للنظام المصان المبسط

النظام غير المصان Non-maintained system: وهو النظام الذي تكون فيه المصابيح عادةً مفصولة، وتضاء بشكل آلي حين تعطل التغذية الرئيسية، الشكل (13.9). الإضاءة الطارئة الراسخة هي صنف من النظام غير المصان حيث تحتوي تجهيزات الإضاءة على المصابيح المضاءة من التغذية الاعتيادية، ومصباح أو مصابيح تضاء بشكل مستقل من البطارية فقط عند تعطل التغذية الاعتيادية. في هذه الحالة يمكن أن تختلف شدة الإضاءة للتجهيزات بين الفترات الطارئة والعادية.

النظام المركزي Central system: وهو يتألف من عدد من المصابيح (المنابع الضوئية) المغذاة من مصدر تغذية ثانوي ومركزي للطاقة.

الأجهزة المتوفرة: يمكن أن تصنف تجهيزات البطارية المتوفرة لأنظمة الإضاءة الطارئة كالتالي:

الفئة 1 بطاريات التخزين المركزية لتغذية مصابيح فتائل التنغستين.



الشكل (13.9) دارة مفتاح أوتوماتيكي لنظام غير مصان

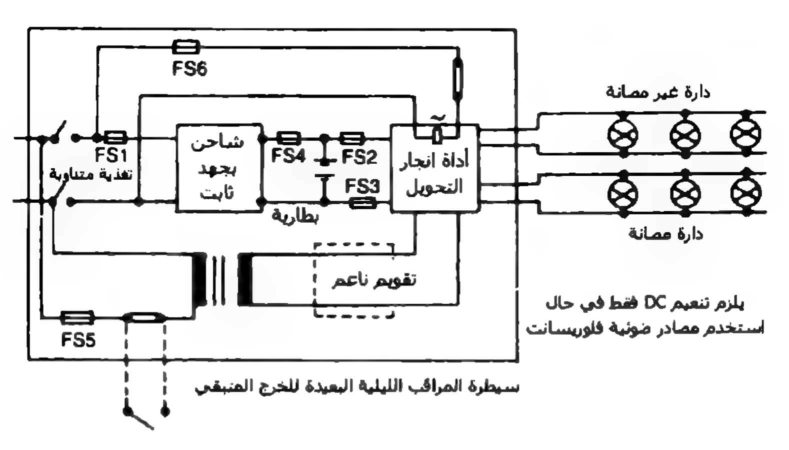
الفئة 2 بطاريات التخزين المركزية لتغذية أنابيب الفلوريسانت، فكل أنبوب فلوريسانت مجهز بقالب ستاتيكي خاص ومستقل مضمن فيه لتوفير تيار متناوب بتردد عالٍ للأنبوب. الترددات المختلفة المستخدمة على سبيل المثال هي: 10, 20, 40 kHz.

الفئة 3 بطاريات تخزين مركزية تغذي مبدلات (bulk inverters) ظاهرية يمكنها توليد عدة kW من التيار المتناوب عند تردد التغذية الطبيعي أي 50 Hz.

الفئة 4 المنابع الضوئية الذاتية، حيث يحتوي كل منها على بطاريته الخاصة، والتي تكون عادةً من نوع النيكل-الكادميوم المختومة، مجهزة بتسهيلات لعملية الشحن. المنابع الضوئية الذاتية متوفرة بمجال واسع من التصاميم وعادةً ما

تجهز بمصابيح فتيلية منخفضة الطاقة أو بأنابيب فلوريسانت من نوع المبدل الترانزستوري بمعدل 13 W و 8 W .

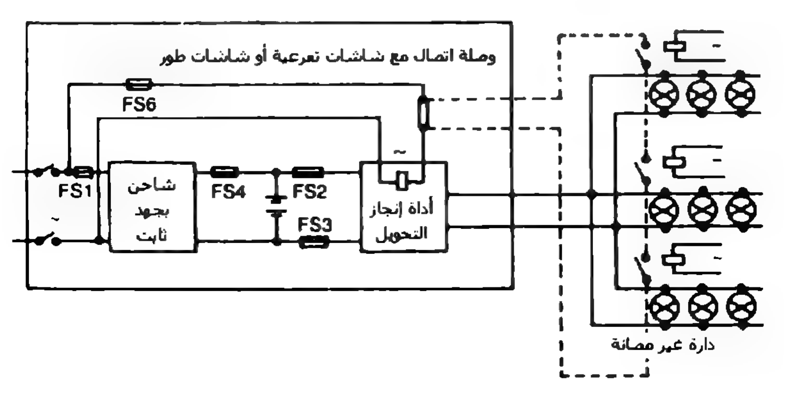
أنظمة Chloride Keepalite: فيما يلي وصف لعمل أنظمة Chloride Keepalite المصانة أو غير المصانة، ويجب الإشارة إلى المخططات الكهربائية المرافقة. يظهر الشكل (13.10) نظام Keepalite مصان. هنا، يتم توفير مفتاح تحكم واحد فقط، من النوع فصل/وصل لتغذية التيار المتناوب الرئيسية. بعد تركيبه يقوم هذا المفتاح بالوصل حيث يصبح العمل بعد ذلك آلياً بشكل كامل. بينما تكون التغذية الرئيسية جيدة، تغذى دارة الأضواء المصانة بالتيار المتناوب عبر المحولة، وتحتفظ البطارية بشروط شحنها الكاملة عبر شاحن بجهد ثابت. عند إخفاق التغذية الرئيسية فإن دارة الأضواء المصانة ودارة الأضواء غير المصانة تتصل بشكل لحظي وآلي إلى البطارية عن طريق قاطع تحويل تلقائي. عند عودة التغذية الرئيسية، يتخذ القاطع التلقائي وضعيته الطبيعية التي تفصل دارة أضواء إنارة الطوارئ غير المصانة ويعاد وصل دارة الأضواء المصانة إلى المحولة. ومن ثم يتولى الشاحن الأمر ويعاد شحن البطارية بشكل آلي.



الشكل (13.10) نظام Chloride keepalite المصان

عند الوصول إلى شروط الشحن التام، يصل جهد البطارية لوضع الجهد الثابت، وينخفض تيار الشحن إلى المستوى المنخفض المطلوب لموازنة ضياعات خلية الدارة المفتوحة.

يظهر الشكل (13.11) نظام Keelalite غير المصان. يمتلك هذا النظام مفتاحاً واحداً فقط في دارة التغذية الرئيسية. يغذي هذا النظام دارات الطوارئ بالطاقة عندما يحدث عطل بالتغذية الرئيسية فقط. طالما أن التغذية الرئيسية بحالة جيدة، يتم الاحتفاظ بالبطارية في ظروف الشحن الكامل بواسطة الشاحن. في الواقع يلي إخفاق التغذية الرئيسية وصل أضواء الطوارئ إلى البطارية بشكل لحظي.



الشكل (13.11) نظام Chloride keepalite غير المصان

بإعادة التغذية الرئيسية، يكون العمل مشابهاً لما وصف أعلاه للنظام المصان.

المتطلبات القانونية (مطابقة القوانين)

شدة الإضاءة الدنيا minimum illuminance. وهي بحدود 0.2 lux (ومن المفضل 1 lux) على الخط المركزي لطريق النجاة بدون خطر، مع تباين أعظمي 40:1 . ولأن المعلومات الخاصة بقياس الضوء من أجل المباعدة تستند على أداء المنبع الضوئي لوحده، من المحتمل أن يكون معدل الاستضاءة الوسطي الاعتيادي من مرتبة 1 lux.

وللمساحات أو المناطق المكشوفة التي تزيد عن $60\ m^2$ يطبق المستوى الأصغري 0.5 lux، ما عدا نصف المتر الأخير من الجدار.

توضع المنابع الضوئية Positioning of luminaires. هذا التوضع يجب أن يظهر إشارات المخرج ويدل على تغيير الاتجاه وإلى المخاطر كالأدراج أو المنحدرات المصادفة في مسلك النجاة، والتي تتضمن المنطقة خارج الباب النهائي (الأخير). يجب توضيع المنابع الضوئية بحيث تشير إلى مسالك النجاة.

المسؤولية القانونية Legal responsibility. في بريطانيا ضباط الإطفاء هم المسؤولون عن إصدار شهادات الحريق لأكثر المباني، باستثناء المكاتب الحكومية، والمدارس والمجالس المحلية والتي تقع ضمن مسؤولية مفتشي القصر الملكي. يقوم المفتش بطلب ضمانة مكتوبة من المقاول بأن عملية التركيب متوافقة مع المعايير والمتطلبات المحلية، عادةً يتوافق مع BS 5266 . المسؤولية القانونية النهائية تترك لمالك أو شاغل المبنى.

اختيار المنبع الضوئي: يمكن أن يخضع اختيار نوع المنبع الضوئي بشكل جزئي إلى الجانب الاقتصادي وبشكل جزئي أيضاً للاعتبارات الهندسية. تعتبر المنابع الضوئية الخاضعة للتحكم المركزي أقل تكلفة من النوع المستقل بذاته، غير أن ضرورة تأمين نظام أسلاك منفصل (مستقل) عن التحكم المركزي وموقع الطاقة لكل جهاز تقوم بمعادلة الفرق في الكلفة وبشكل كبير. وخصوصاً نظراً لضرورة توفير أسلاك توزيع مقاومة للحرارة. أضف إلى ذلك، ضرورة وجود غرفة المنشأة، تحوي البطاريات المركزية ولوحة المفاتيح. لا توجد حقيقة تقول بأنه في حالة فشل الدارة الثانوية، فإن النظام سيبدأ بالعمل ما لم يكن مجهزاً بنظام تقوية مكلف.

تحتاج المنابع الضوئية القائمة بذاتها للقليل أو لا تحتاج لنظام توزيع أسلاك خاص، باعتبار أنه يمكنها العمل من نفس علب التوزيع مثل النظام الرئيسي. يمكن إضافتها بسهولة لتجهيزات موجودة، وبما أنها تعمل بشكل آلي عند انقطاع التغذية عن جزء المنظومة المرتبطة به، يمكن فحصها بسهولة بإزالة الفواصم (fuses) أو بتشغيل مفتاح العزل. كل منها يحوي مصدر تغذيته الخاص، والذي يتألف عادةً من خلايا النيكل-الكادميوم والمتوضعة في المنبع الضوئي والتي تقوم بتشغيل أنابيب الفلوريسانت المصغرة. يتم المحافظة عليها مشحونة بشكل كامل عن طريق وحدة

(module) ذات حالة صلبة مغذاة من التغذية الرئيسية تعمل لفترة زمنية أصغرية تقدر بثلاث ساعات بعد انقطاع التغذية الرئيسية. لهذه الأسباب مجتمعة، اكتسب نظام الإضاءة الطارئة هذا شعبية كبيرة مقارنة مع النوع الذي يعمل مركزياً.

تخطيط المنشأة Planning the installation: يجب الإشارة إلى طرق النجاة على أرضية مستوية. هذه الإشارات يجب أن تكون مباشرة قدر الإمكان ولكن مع تجنب المناطق المكتظة أو تلك التي يحتمل انتشار اللهب فيها بشكل سريع. يجب تمييز النقاط الخطرة والأبواب والأدراج والأماكن التي يغير فيها الطريق وجهته تمييزاً واضحاً وتزويدها بإنارة طوارئ. يجب توضيع مخطط تساوي الإضاءة (isolux diagram) والمقدم من قبل الجهة المصنعة في كل نقطة من هذه النقاط والمواقع على الخط المركزي للنجاة حيث تنخفض الإضاءة إلى ما دون 0.2 lux بشكل ملحوظ وتوضيع منابع ضوئية إضافية فيها (عندها). من الجوهري ضمان وضع كل منبع ضوئي في موقع يكون مرئياً فيه من موقع تواجد المنبع الذي يسبقه، وكذلك الحال في الظروف حيث يوجد الدخان (المحيط الدخاني) فهذه المنابع يجب أن تلعب دور أدلّة إرشادية لطريق النجاة. يجب تركيب إشارات الخروج في مستوى أعلى من سطح الأرض بما يعادل 2~2.5 m وتوضع في مواقع قريبة لتلك النقاط التي تشير أو تدل عليها. حيثما لا توجد خطوط إبصار تدل مباشرة إلى المخرج، فإنه يجب استخدام إشارات مساعدة للدلالة على هذا الطريق. يجب أن تكون إشارة المخرج من النوع المصان، أي يجب أن تضاء بشكل دائم أو طوال الفترة التي يكون فيها المبنى مشغولاً.

يجب المحافظة على ترتيب الإشارات وإضاءتها لفترة طويلة حتى يتم إخلاء المبنى. تتبع المعايير القياسية للإضاءة المخطط التوضيحي للطريق ولكن بدون صيغ - مثل رجل يركض باتجاه باب مجسم مع أسهم دلالة بينهما. حلت هذه الإشارات وبشكل تدريجي محل الصيغة المؤقتة (التفاصيل في BS 5499) والتي كانت تضم شكلاً يمثل رجلاً يركض داخل صندوق، وسهم، ونص. أما إشارة الكلمة 'Exit' القديمة BS 5260 فقد أصبحت لاغية الآن. لاحظ بأنه من غير المسموح به استخدام الإشارات التي تنتمي إلى معايير مختلفة ضمن المنشأة نفسها.

الصيانة والاختبار: كل إشارة قائمة بذاتها يجب أن تزود بالطاقة لمرة واحدة في الشهر من بطاريتها الداخلية، كما يجب تركها عاملة لمدة ساعة كاملة مرة كل ستة أشهر (BS 5266 Part 1). يجب إجراء هذه الاختبارات جميعها في أوقات تكون فيها المخاطر قليلة مع مراعاة الاستخدام الشخصي لأماكن الاختبار.

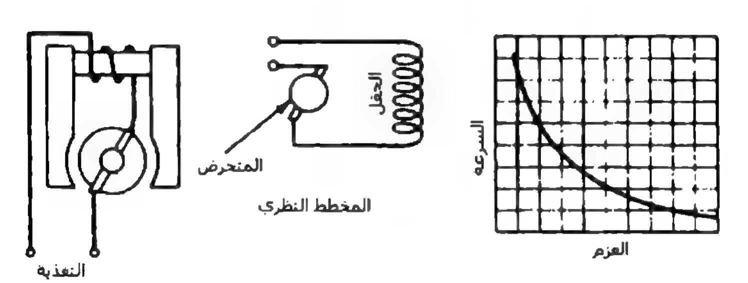


المحركات وأجهزة (عناصر) التحكم

محركات التيار المستمر D.C. Motors

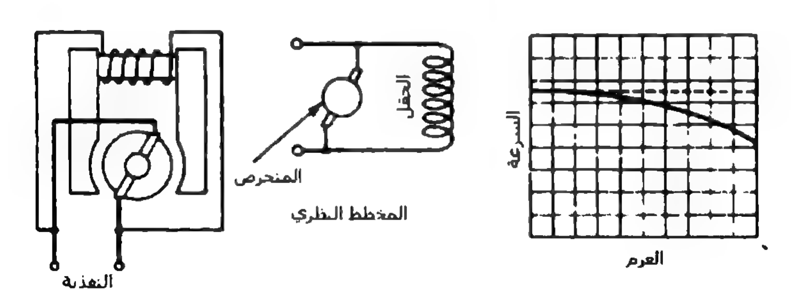
تنقسم محركات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع كما يلي:

1. *محرك اللف التسلسلي The series-wound motor*: في هذا النوع والمبين في الشكل (14.1)، يكون ملف الحقل على التسلسل مع العضو المتحرض. يستخدم هذا النوع من المحركات فقط من أجل الربط المباشر (الاقتران المباشر) وفي بعض التطبيقات الأخرى التي يتم فيها ربط الحمل (أو جزء منه) مع المحرك بشكل دائم. ويلاحظ ذلك من خلال مواصفات العزم-السرعة، التي تظهر بأنه عند عدم وجود حمل أو بوجود حمل خفيف ستكون السرعة عالية جداً وبالتالي فهي خطرة.



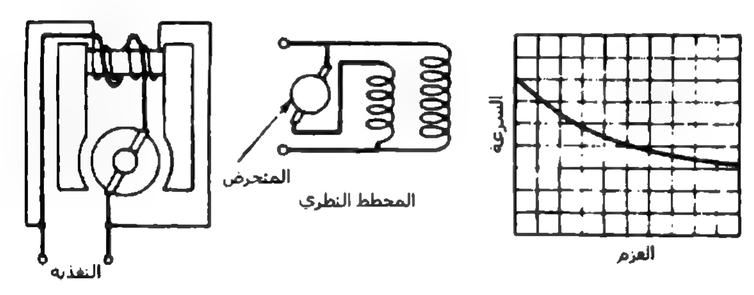
الشكل (14.1) محرك اللف التسلسلي

2. *محرك اللف التفرعي The shunt-wound motor*: في هذه الحالة يوصل ملف الحقل على التوازي مع العضو المتحرض كما هو مبين في الشكل (14.2)، ويمثل المحرك التفرعي النوع القياسي لمحرك التيار المستمر للمهام الاعتيادية، حيث تكون سرعته ثابتة تقريباً، وتنخفض بزيادة الحمل نتيجة هبوط المقاومة ورد فعل المتحرض.



الشكل (14.2) محرك اللف التفرعي

3. *محرك اللف المركب The compound-wound motor*: وهو عبارة عن دمج للنوعين السابقين. فهناك ملفات حقل موصولة على التسلسل مع العضو المتحرض، وملفات حقل أخرى موصولة على التفرع معه كما هو مبين في الشكل (14.3). يمكن أن تتغير نسب مساهمة الملفات التفرعية والتسلسلية بغية جعل المواصفات قريبة من مواصفات المحرك التسلسلي أو من مواصفات المحرك التفرعي. المخطط النموذجي للعزم والسرعة مبين في الشكل (14.3).



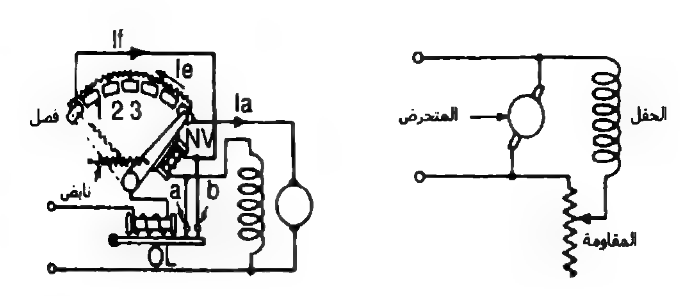
الشكل (14.3) محرك اللف المركب

تستخدم محركات اللف المركب من أجل الروافع وتطبيقات المعدات الثقيلة الأخرى حيث يمكن تنفيذ حمل زائد حيث ستبرز الحاجة لعزم إقلاع كبير.

التحكم بالسرعة: يتم التوصيل للتحكم بالسرعة على النحو التالي:

المحركات التسلسلية: يتم التحكم عبر ربط سلسلة من المقاومات على التوازي مع ملفات الحقل. وبالتالي تعرف المقاومة بمقاومة التوزيع. هناك طريقة أخرى مستخدمة في تطبيقات الجر مبنية على إقلاع محركين على التسلسل ومن ثم وصلهما على التوازي لدى الوصول إلى سرعة محددة. وفي هذه الحالة تستخدم المقاومات التسلسلية لتحديد التيار.

محركات اللف التفرعية والمركبة: يتم تنظيم السرعة في هذه المحركات عبر وضع مقاومة على التسلسل مع ملف الحقل التفرعي فقط. وهذا مبين بشكل تخطيطي للمحرك التفرعي في الشكل (14.4).



الشكل (14.4) إلى اليسار مخطط قرص وجه المقلع للمحرك التفرعي، وإلى اليمين التحكم بسرعة المحرك ذي اللف التفرعي عبر حقل الريوستات

الإقلاع Starting: يوضح الشكل (14.4) مبدأ إقلاع المحرك التفرعي، والذي يظهر المقلع من النوع faceplate، حيث تكون مقاومة الإقلاع بين القطع المرقمة 1، 2، 3 .. إلخ. يتم مسلك مقبض الإقلاع بواسطة وشيعة اللاجهد (no-volt coil)، والتي يرمز لها بالرمز NV والتي تسمح بعودة المقلع بشكل آلي لوضعية الفصل عند انقطاع التغذية. وتتم الحماية من التحميل المفرط من خلال وشيعة التحميل المفرط المشار

إليها بالرمز OL التي تقوم بقصر دارات الوشيعة NV عند التحميل المفرط عن طريق التماسات ذات الرموز a و b.

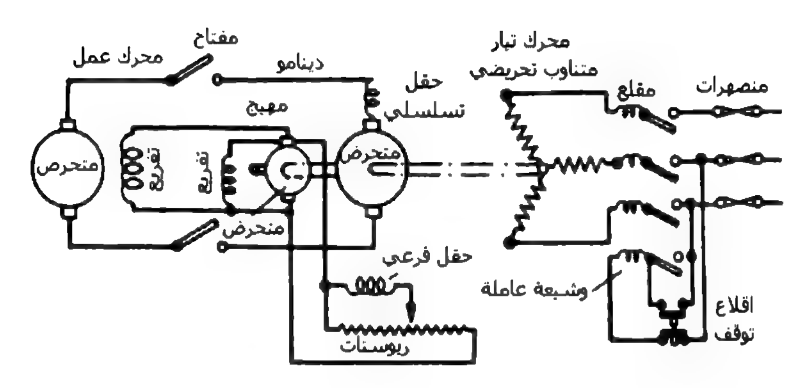
من المهم جداً عند إقلاع محرك اللف التفرعي، الملاحظة بأن المقاومة المتزلقة التفرعية (والمستخدمة للتحكم بالسرعة) تكون في وضعية السرعة المنخفضة، وهذا ما يجعل عزم الإقلاع متناسباً مع تيار الحقل الذي يجب أن يتخذ قيمته العظمى بهدف الإقلاع. تمتلك العديد من المقلعات منظم للسرعة مرتبط مع مقبض إقلاع وبالتالي لا يمكن للمحرك الإقلاع في الحقل الضعيف.

طرق الإقلاع هذه غير مستخدمة بكثافة في الوقت الراهن، غير أنها موجودة نتيجة لاستمرار تواجد الكثير من المنشآت أو التجهيزات في الخدمة. تستخدم طرق التحكم الحديثة وسائط ساكنة نقدم فيما يلي وصفاً لها.

نظام تحكم Ward-Leonard: إحدى أكثر طرق التحكم بالسرعة أهمية هي تلك المعتمدة لمبدأ Ward-Leonard والتي تشتمل على محرك تيار مستمر يتغذى من مجموعة توليد خاصة به. يبين الشكل (14.5) مخطط التوصيلات. المكونات الاعتيادية هي محرك تيار متناوب تحريضي أو تزامني، مولد تيار مستمر قائد، مهيج جهد ثابت، محرك تيار مستمر قائد بلف تفرعي ومقاومة حقل متغيرة. يتم التحكم بمحرك مجموعة القيادة عبر تغيير الجهد المطبق على العضو المتحرض بواسطة مقاومة متزلقة ضمن دارة الملف التفرعي للمولد. يتم الحصول على تغذية التيار المستمر لملفات حقل المولد ومحرك مجموعة القيادة عن طريق مهيج مقاد بواسطة محور المولدة.

بفضل هذه التجهيزات، يمكن الحصول على مجال سرعة من 10 إلى 1 من خلال تنظيم حقل المولد التفرعي. وتستخدم هذه المجموعة للمخارج من 360 واط فما فوق. بالنسبة للأحجام الصغيرة، يمكن الحصول على مجالات سرعة من 15 إلى 1 غير أن المجال الأكثر أمناً والمستخدم للأغراض العامة يمكن أن يعتبر المجال من 10 إلى 1.

يعتبر التحكم بالسرعة وفق هذه الطريقة عالي الاستقرار، حيث تتراوح نسبة تنظيم السرعة بين حالتي الحمل الكامل واللاحمل عند أي نقطة معينة بين 7% إلى 10% وذلك حسب حجم وتصميم الجهاز.



الشكل (14.5) نظام تحكم Ward-Leonard

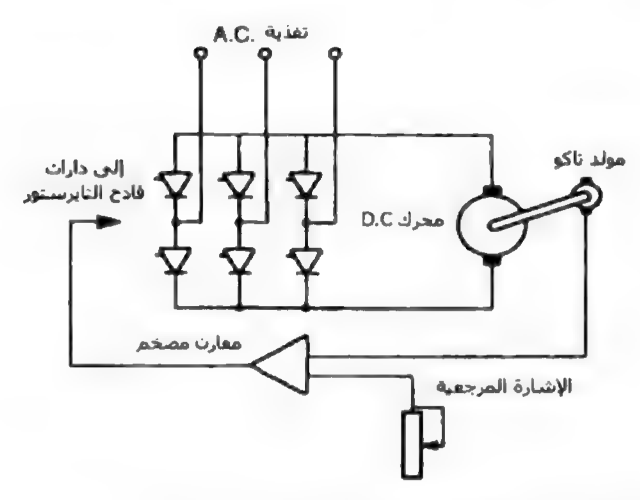
استخدم هذا النمط من القيادة في تطبيقات صناعية متنوعة ومنها الروافع ذات الخرج المتغير من 15 kW وحتى 112 kW، وكذلك في المطاحن حيث الخرج 360 W، 0.75W، 1.5 kW بمجالات سرعة من 6:1 إلى 10:1.

المنظمات الثايرستورية: إن تطوير الثايرستورات ذات القدرة العالية على تحمل التيارات وذات الوثوقية العالية في الأداء أتاح إمكانية تصميم المنظمات الثايرستورية التي تعطينا أنظمة قيادة تيار مستمر متغيرة يمكنها مجاراة العديد من أنظمة القيادة المتناوبة ذات السرعة المتغيرة المتواجدة في الأسواق بل وحتى التفوق عليها. هذه الإمكانية بدورها أدت إلى تصميم محركات التيار المستمر من جديد بما يتلاءم مع خصائص المنظم الثايرستوري.

تتمتع الآلات بأقطاب ذات قلب رقائقي، وقد تزود الآلات الأصغر بقارنات رقائقية أيضاً، وذلك بغية تحسين التبادلية عن طريق السماح للدارة المغناطيسية بأن تستجيب بشكل أسرع لتغيرات الفيض الناتج عن المنظمات الثايرستورية. كذلك تم تطوير تصاميم أطر مربعة لآلات التيار المستمر مع إدخال تحسينات كبيرة على نسبة الطاقة إلى الوزن إلى جانب المميزات الإيجابية الأخرى، يبين الشكل (14.6) محركاً نموذجياً. والمخطط الكهربائي الموضح في الشكل (14.7) يبين جسر ثايرستور سداسي النبضات ثلاثي الطور ومحرك تيار مستمر وحلقة تغذية عكسية.



الشكل (14.6) محرك تيار مستمر نموذج وذو تهوية قسرية



الشكل (14.7) دارة التغذية العكسية لمحرك تيار مستمر.
جسر ثايرستور سداسي النبضات وثلاثي الطور

من المعتاد تزويد محرك التيار المستمر ذي التحكم الثايرستوري بمولد تاكو يقوم بتوفير إشارة متعلقة بالسرعة بهدف مقارنتها مع إشارة السرعة المرجعية. يقوم الخطأ أو الفرق بين هاتين الإشارتين بتقديم أو تأخير زاوية قدح ثايرستورات المنظم لتصحيح جهد التيار المستمر ومن ثم سرعة المحرك. قد تستخدم بعض المعاملات الأخرى إلى جانب إشارة سرعة المحرك أو عوضاً عنها وذلك في عمليات التحكم ونذكر من هذه المعاملات : التيار والحمل المشترك وجهد التشبيك والمستوى.

مجموعات قيادة الممانعة المحولة: أثمرت التطورات في مجال وحدات القيادة المستمرة ذات السرعة المتغيرة عن تطوير محرك بالممانعة المحولة. تمتلك الآلة أقطاباً ناتئة على العضو الساكن وكما هو الحال بالنسبة لمحركات التيار المستمر الأخرى فإن سرعة المحرك لا تتحدد عن طريق عدد الأقطاب. ويبنى العضو الدوار للمحرك على شكل طبقات رقائقية ولكنه لا يضم أي ملفات على الإطلاق. تطبق نبضات التيار غير الموجهة على أقطاب الحقل بشكل متعاقب أما أزمنة نبضات القيادة فيتم اشتقاقها اعتماداً على الإشارات الواردة من حساس موضع مركب على محور المحرك، يمكن الحصول على عزم موجب أو سالب ويتاح التحكم لأربعة أرباع كاملة على مجال عريض للسرعة مع إمكانية توفير خاصيتي العزم الثابت أو الاستطاعة الثابتة.

محركات التيار المتناوب

يمكن تصنيف محركات التيار المتناوب كما يلي:

a. المحركات التحريضية Induction Motors

b. المحركات المتزامنة Synchronous motors

c. محركات مبدل السرعة المتغيرة بما فيها محرك Scharge

d. المحركات التسلسلية Series motors

e. المحركات أحادية الطور التنافرية، السعوية والتفرعية
Single-phase repulsion, capacitor and shunt motors

f. محركات تغيير القطب ومحركات خاصة أخرى

تستخدم الأنواع الثلاثة الأولى بجميع الأحجام، ومن أجل جميع التطبيقات العامة. تستخدم المحركات التحريضية لبساطتها ووثوقيتها وانخفاض تكلفتها الأولية. تركب المحركات المتزامنة حيث تتوفر الرغبة في الحصول على تحسين لعامل الاستطاعة أو عند بروز الحاجة للسرعة الثابتة، وهي اقتصادية فقط بالنسبة للحمولات الكبيرة الأعلى من 75 kW ، ومع ذلك توجد حالات قيد الاستعمال في الآلات الصغيرة للأغراض الخاصة.

كان محرك المبدل ثلاثي الطور هو محرك التيار المتناوب الوحيد المستخدم للاستطاعات الكبيرة والوحيد الذي يوفر تحكم كامل بالسرعة، وبالرغم من كلفته المرتفعة فقد استخدم بشكل واسع في التطبيقات التي تطلبت سرعة متغيرة. أما محركات تغيير القطب والمحركات الخاصة الأخرى مع خصائص التحكم المتعلقة بها فقد أصبحت متوفرة حالياً وسوف يتم عرض بعض التفاصيل المتعلقة بها لاحقاً.

أصبحت المبدلات الساكنة المستخدمة مع المحركات التحريضية ذات القفص من الأدوات شائعة الاستخدام في وحدات القيادة ذات السرعة المتغيرة وسوف نعرض لها لاحقاً. تمثل الفئات (d) و(e) الأنماط المستخدمة لمحركات الطاقة الصغيرة، والتي تشمل المحركات التحريضية أيضاً. تم تطوير المحركات الصغيرة هذه إلى حد بعيد بسبب عدد الآلات الصغيرة المدمجة مع مجموعات قيادة مستقلة. وعادةً تتضمن محركات الطاقة الصغيرة آلات نامية من 20 W وحتى 1.5 kW تقريباً. يكمن السبب وراء إدراج المحرك 1.5 kW في فئة المحركات الصغيرة، في اختلاف التقنية المستخدمة لتصنيع المحركات الصغيرة، والظاهر في طرق الإنتاج ذات الكميات الهائلة. يمكن لأغلب مصنعي المحركات الصغيرة هذه أن يزودوا المحركات بعناصر مدمجة تعطي أي قيمة للسرعة النهائية لعمود الإدارة وتنخفض إلى ما دون الدورة الواحدة خلال 24 ساعة أو حتى أطول. يتم حالياً تصنيع المحرك التحريضي والمسمى بالمحرك القياسي عبر خطوط الإنتاج الكمي، وكنتيجة لمعايرة الجهد والتردد، تنخفض تكلفة المحركات الجديدة ذات الحجوم القياسية بشكل استثنائي. إن الاستغناء عن المبدل، وفي حالة المحرك القفصي غياب أي اتصال مهما كان نوعه مع العضو الدوار، بالإضافة لبساطة الإقلاع جعلت منه الشكل المتاح الأكثر موثوقية والأقل كلفة لإدارة الطاقة.

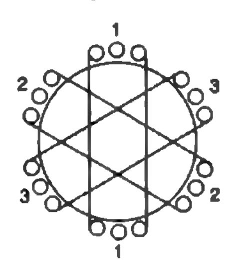
هناك عدد كبير من المحركات الخاصة المستخدمة في بعض التطبيقات غير الاعتيادية، هذه المحركات لن يتم التطرق لها أكثر من كونها موضع اهتمام أكاديمي مقارنة مع الاستخدامات الصناعية العامة. ويعتبر المحرك التحريضي الخطي أحد الأنواع المنتمية لهذه الفئة بالرغم من استخدامه في الروافع المعلقة وكأداة تشغيل حيث يتطلب الأمر قوة كبيرة دون الحركة.

تمت الإشارة إلى استخدام المحركات المتزامنة بهدف تحسين عامل الاستطاعة في الفصل الذي تناول تصحيح عامل الاستطاعة، لكن يجب أن يكون واضحاً أن الميزات الأساسية للمحرك المتزامن هي سرعته الثابتة (المعتمدة على التردد) وحقيقة إمكانية تغيير عامل الاستطاعة الذي يعمل عنده عند الرغبة ضمن مجال معين – عادةً من 0.6 متقدم إلى 0.8 متأخر – وذلك عن طريق تغيير تيار التهييج.

المحركات التحريضية

يكمن المبدأ الأساسي للمحرك التحريضي في الفيض الدوار الذي ينتجه التيار المار في ملف العضو الساكن، ونتيجة اختراقه قضبان العضو الدوار يتحرض تيار في ملف العضو الدوار ومن ثم يقوم هذا التيار بتوليد حقله الخاص الذي يتفاعل مع فيض العضو الساكن الدوار وهذا ما يؤدي إلى توليد عزم الإقلاع والتشغيل.

يكون ملف العضو الساكن الذي سيولد هذا الفيض الدوار بسيطاً تماماً في حالة المحرك ثلاثي الطور، حيث يرتكز على ثلاث لفات متناظرة كما هو مبين في الشكل (14.8)، أما المحرك أحادي الطور وحالياً ثنائي الطور فلا يمكن فهمه ببساطة.



الشكل (14.8) ملف العضو الساكن ثلاثي الطور لإنتاج حقل دوار

يدور حقل العضو الدوار بسرعة متزامنة، وإن لم يكن هناك حاجة لأية طاقة من أجل تدوير العضو الدوار، فإنه سوف يدرك بالفيض، وسيدور أيضاً عند سرعة متزامنة. وبالتالي سينخفض الشرط اللازم لإنتاج العزم. على أي حال، عند بروز الحاجة لمقدار محدد من الطاقة بهدف تدوير العضو الدوار حتى وإن لم يكن هناك أي حمل موصول، فإن السرعة ستكون دائماً أقل بقليل من سرعة التزامن. كلما ازداد الحمل هبطت السرعة بغية السماح بتحريض المزيد من تيارات العضو الدوار اللازمة لتقديم عزم أكبر. يدعى الفارق بين السرعة الفعلية وسرعة التزامن بالانزلاق (Slip)، والذي عادةً ما يعبر عنه كنسبة مئوية أو كجزء من سرعة التزامن. ويكون الانزلاق الأعظمي بالنسبة للآلات القياسية المحملة تحميلاً كاملاً 4% تقريباً.

حساب سرعة التزامن: يمكن تصنيع المحركات التحريضية بأي عدد من الأقطاب (من مضاعفات العدد 2)، لكن من غير المعتاد بناء محركات بأكثر من عشر أقطاب، حيث يتم اختيار 2، 4، 6 قطب إذا أمكن للاستخدامات العادية عادةً، بسبب الكلفة البدائية المنخفضة والكفاءة المرتفعة.

$$\text{سرعة التزامن (دورة/دقيقة)} = \frac{\text{التردد} \times 60}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

وبالتالي، فإن محركاً ثنائي الأقطاب يعمل بتردد 50 Hz سيمتلك سرعة تزامن قدرها 3000 rpm، ورباعي أقطاب 1500 rpm ، وسداسي أقطاب 1000 rpm. إن ملاءمة السرعة 1500 rev/min للعديد من التطبيقات، جعلت من المحرك رباعي الأقطاب المحرك الأكثر انتشاراً. يعرض الجدول (14.3) سرعة العضو الدوار الفعلية من أجل الانزلاق 4% للمحركات المختلفة عند التردد 50 Hz. يتم حساب الانزلاق من العلاقة التالية:

$$\text{النسبة المئوية للانزلاق} = \frac{(\text{سرعة العضو الدوار} - \text{سرعة التزامن}) \times 100}{\text{سرعة التزامن}}$$

عندئذ ستكون سرعة العضو الدوار عند أي انزلاق من الشكل:

$$\text{سرعة العضو الدوار} = \frac{100 - \text{الانزلاق}}{100} \times \text{سرعة الزمن}$$

والانزلاق يعوض كنسبة مئوية.

تغير الانزلاق مع العزم: من الممكن الملاحظة بأن عزم أي محرك تحريضي هو:

$$T = \frac{k\, E_2\, s\, R_2}{R_2^2 + (s\, X_2)^2}$$

حيث:

T = العزم

k = ثابت

E_2 = جهد العضو الدوار

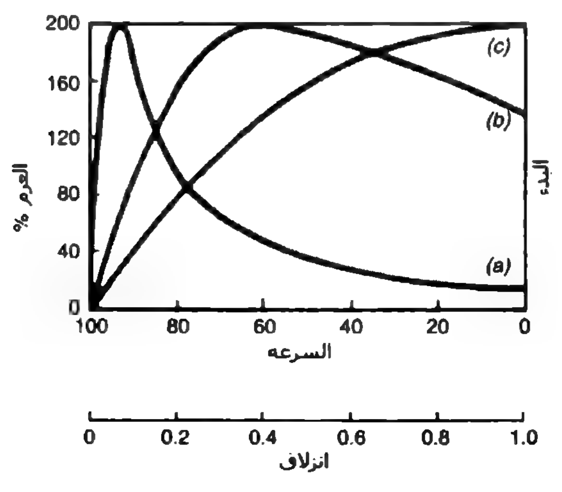
s = الانزلاق الجزئي

R_2 = مقاومة العضو الدوار

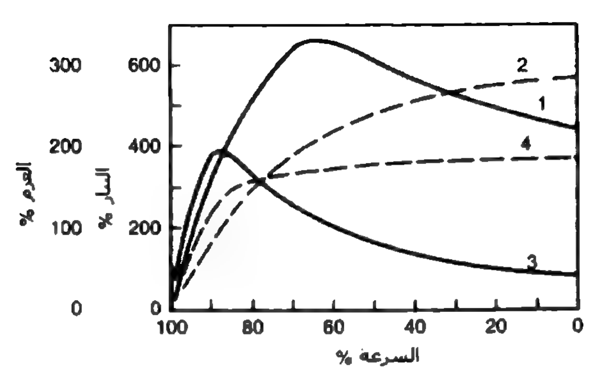
X_2 = المفاعلة التحريضية للعضو الدوار

لهذا، يمكن حساب تغير الانزلاق مع العزم، ويوضح الشكل (14.9) المنحنيات النموذجية لعلاقة العزم-الانزلاق. هذه المنحنيات من أجل نفس المحرك، المنحني (a) للعضو الدوار المقصورة دارته، بينما (b) و(c) من أجل الحالات التي وضعت فيها مقاومة إضافية في دارة العضو الدوار. يتضح من المنحنيات هذه، وكذلك من العلاقة أعلاه بأن العزم يتزايد بشكل كبير عند السرعات المنخفضة أو عند سرعات الإقلاع إذا ما أضيفت مقاومة إلى دارة العضو الدوار، وهذا المبدأ مستعمل في المحرك التحريضي بالعضو الدوار ذي اللفات، والمستخدم للإقلاع في مواجهة الأحمال الثقيلة.

يمكن الاستنتاج كذلك بأن العزم الأعظمي يقع عندما يصبح $R_2 = s X_2$ عندئذ سيكون الانزلاق $s = R_2 / X_2$. يبين الشكل (14.10) التأثير الواقع على خصائص العزم/السرعة لدى استبدال المقاومة العالية بالمفاعلة العالية.

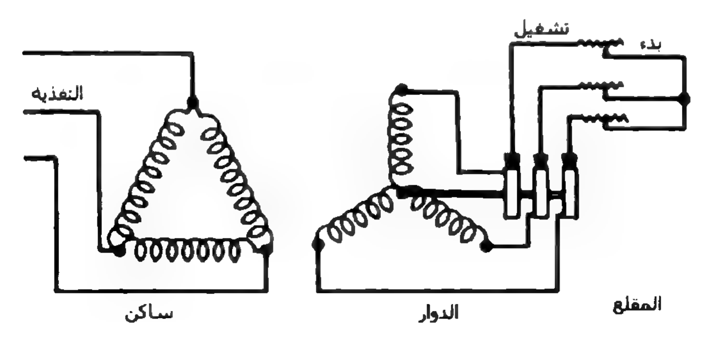


الشكل (14.9) المنحنيات النموذجية لعلاقة العزم مع الانزلاق



الشكل (14.10) منحنيات العزم/السرعة والتيار/السرعة للمحركات ذات القفص ذات المقاومة والمفاعلة العالية

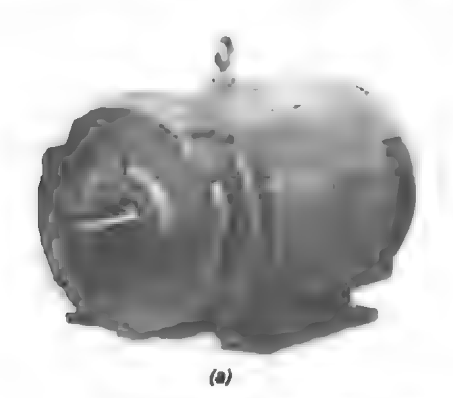
محرك بالعضو الدوار ذي اللفات أو المحرك بالحلقات المنزلقة: يستخدم المحرك التحريضي ذو الحلقات المنزلقة مع المهام التي تحتاج للإقلاع أمام حمل ثقيل نوعاً ما، وترتب الحلقات المنزلقة بغية إضافة المقاومة المفروض إدراجها ضمن دارة العضو الدوار لتأمين الإقلاع. يبين الشكل (14.11) كيفية توصيل الدارات المختلفة مع مصدر الطاقة وكذلك مع المقاومة المتغيرة للعضو الدوار.



الشكل (14.11) محرك إقلاع بملف الدوار

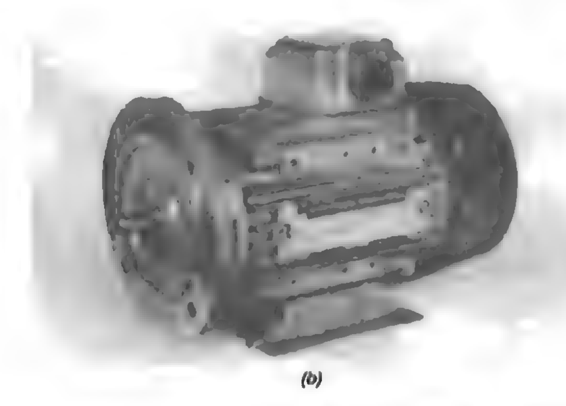
يسمى هذا النوع من المحرك بالمحرك ذي العضو الدوار بلفائف، ولهذا يجب لف العضو الدوار بنواقل معزولة مشابهة لتلك المستخدمة مع العضو الساكن. في المحركات الأكبر حجماً يتم إدراج أداة إلى محور العضو الدوار تمكن من قصر الحلقات المنزلقة بينما تقوم المسفرات برفع هذه الحلقات، وهذا ما يقود لتخفيض الضياعات الكهربائية والضياعات الناجمة عن الاحتكاك. سيتم التطرق لمقلعات هذه المحركات لاحقاً في هذا الفصل. بوجود مقاومة خارجية في دارة العضو الدوار، من المحتمل الحصول على عزم إقلاع كبير من دون سحب تيار إقلاع كبير من خط التغذية. سوف نجد بأنه يمكن الحصول على عزم الحمل الكامل عند مرور 1.25 ضعف من تيار الحمل الكامل. يمكن الحصول على قيم العزم الأخرى حتى من 2 إلى 2.5 ضعف من الحمل الكامل (استناداً إلى خصائص المحرك) لدى مرور من 2.5 إلى 3 أضعاف تيار الحمل الكامل.

المحركات ذات القفص: يجب استعمال المحركات ذات القفص دائماً عندما يتاح ذلك، بسبب متانتها وبساطتها وانخفاض تكلفتها وندرة صيانتها بالمقارنة مع آلات الحلقات المنزلقة. يمكن استعمالها عندما يكون عزم الإقلاع كافياً لاكتساب سرعة القيادة، وعندما يكون تيار الإقلاع اللازم لذلك غير مرتفع كثيراً من أجل شروط مصدر التغذية. تتكون عادةً نواقل العضو الدوار للأعضاء الدوارة ذات القفص من قضبان من الألمنيوم المرتبة حول المحيط الخارجي للعضو الدوار وتتصل كل نهاية منها بحلقة من الألمنيوم. كثيراً ما يتم تشكيل النواقل والحلقات المنزلقة في قوالب صب، بالرغم من أنها تكون مصنوعة من النحاس بالنسبة للأحجام الكبيرة من مرتبة 200 kW أو 300 kW. لذلك تكون مقاومة العضو الدوار منخفضة ويتاح عزم إقلاع صغير جداً مقارنة مع التيار المسحوب من مصدر التغذية. من ناحية أخرى، يكون المحرك المنتج رخيص جداً وفعال. تبين الأشكال (14.12) من (a) إلى (d) أربعة أنواع مختلفة لآلات محرك بقفص. ويبين الشكل (14.13) الخصائص النموذجية لهذه المحركات للتطبيقات المتوسطة. يبدو جلياً بأن العزم المطور عن ثبات المحرك عند الجهد الكامل هو 125% من عزم الحمل الكامل، وسيكون تيار الإقلاع أكبر من 600% من تيار الحمل الكامل بالضبط، بمعنى آخر متطابق مع المنحنيات المثلثية.



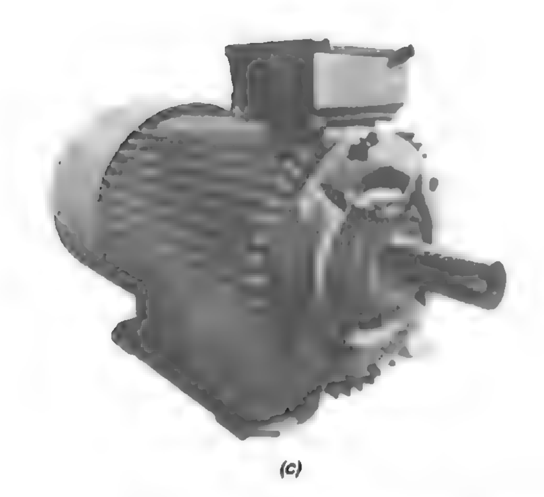
(a)

الشكل (14.12.a) محرك بقفص بمعدل 5.5→540 KW



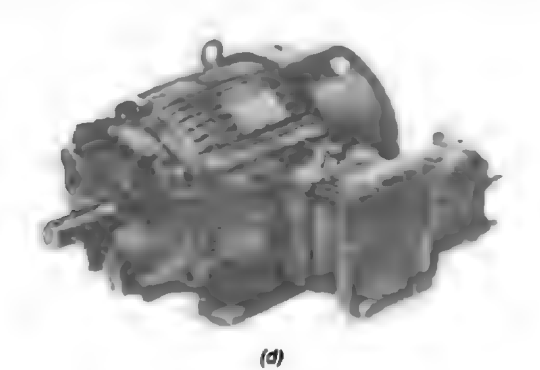
(b)

الشكل (14.12.b) محرك بقفص بمعدل 0.18→425 KW



(c)

الشكل (14.12.c) محرك بقفص بمعدل 18.5→425 KW



(d)

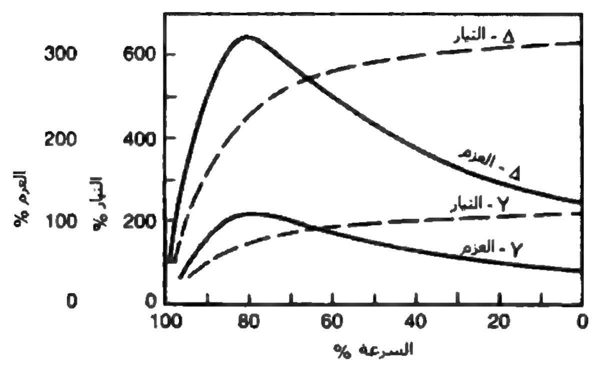
الشكل (14.12.d) محرك بقفص بمعدل 0.37→150 kW

نظراً لارتفاع تيار الإقلاع عند الجهد الكامل، يتم وضع منظمات مفروضة عن طريق شركات التغذية الكهربائية لحماية مصالح المستهلكين المجاورين عبر تحديد حجم المحركات ذات القفص والتي يمكن إقلاعها بالتحويل من خط الجهد الرئيسي مباشرة. أما مجال الطاقة للآلات التي يمكن تشغيلها من خط التغذية مباشرة فيتغير بناءً على خصائص التغذية الكهربائية. يمكن أن تكون الحدود في بعض الحالات حوالي 5 kW وفي بعضها الآخر أكبر من 7.5 kW للتغذية 400 V. في الحالات التي لا يمكن فيها استخدام الإقلاع المباشرة بسبب القيمة العالية لتيار القفزة البدائي (Initial peak) يجب إقلاع المحرك ذي القفص عند جهد منخفض. هناك ثلاث طرق للإقلاع عند الجهود المنخفضة تتضمن كل منها تخفيض لعزم الإقلاع، هنا تم استبعاد طريقة إقلاع القالب الساكن والتي ستتم مناقشتها لاحقاً، يكون الجهد المطبق في مثل هذه الطرق منخفضاً أيضاً. هناك تطوير آخر للمحركات ذات القفص مبين لاحقاً يتضمن محرض تيار فوكو متكامل يولد عزماً كبيراً من أجل تيار منخفض:

a. توصيلات نجمية – مثلثية

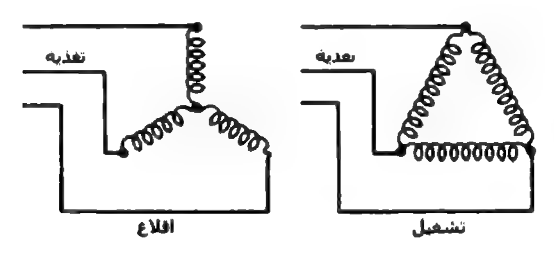
b. استخدام المحولة الذاتية

c. إقلاع بمقاومة أولية.



الشكل (14.13) منحنيات العزم/السرعة والتيار/السرعة من أجل محركات ذات القفص التحريضية الموصولة بشكل نجمي أو مثلثي

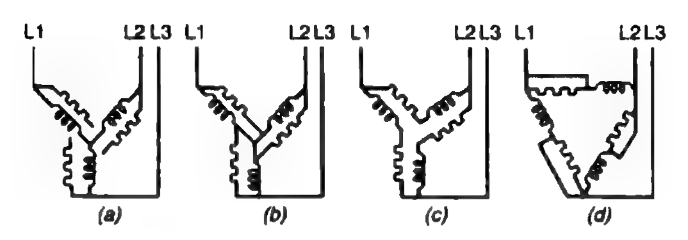
الإقلاع على الجهد المنخفض: يعتبر الإقلاع النجمي–المثلثي الطريقة الأكثر شيوعاً في الإقلاع على الجهد المنخفض، وتتكون من وصل ملفات العضو الساكن بالتوصيل النجمي حتى الوصول إلى قيمة معينة للسرعة، ومن ثم التحول إلى التوصيل المثلثي بحيث تصبح توصيلات الدارة كالمبينة في الشكل (14.14). ويجب لهذا السبب توافر ست نهايات (أطراف) على الآلة لإجراء هذه التوصيلات. وبذلك يتم تخفيض الجهد عبر كل ملف إلى 58% من جهد التغذية. إن التوصيل النجمي يترجم عند الإقلاع بأن تصبح قيم تيار الخط والعزم مساوية إلى ثلث قيمها عند الجهد الكامل. هذه الطريقة بسيطة وغير مكلفة، لكنها تستخدم فقط عندما يكون حمل الإقلاع صغيراً ويمكن بواسطتها الحصول على إقلاع متكرر.



الشكل (14.14) إقلاع نجمي - مثلثي للمحركات ذات القفص

مقلع نجمي–مثلثي بعزم مستمر من النوع Wauchope: إن المقلع النجمي–المثلثي Wauchope هو تطور هام في تقنية إقلاع المحركات التحريضية ثلاثية الطور ذات القفص، ويؤمن تسارع ناعم يقارب ذلك المنجز من قبل محرك ذي حلقات منزلقة بالرغم من كون الزيادة الثابتة في العزم أثناء الإقلاع غير مطلوبة. باعتبار الإقلاع النجمي–المثلثي المعياري، إذا أمكن التغيير من النجمي إلى المثلثي بشكل آني، فإن التيار سيرتفع إلى ما يقارب ثلاثة أضعاف التيار في التوصيل النجمي الذي نحصل عليه لحظة الانتقال من وضعية إلى أخرى. ولكن بسبب توقف الانتقال وضياع السرعة الناتج عن ذلك، تزداد قيمة تيار القفزة للتوصيل المثلثي وذلك بشكل كبير، فإن قيمة تيار التوصيل المثلثي تزداد بسرعة كبيرة، ويمكن أن تقترب من التيار المسحوب من الخط لدى وصل المحرك بشكل مثلثي إلى مصدر التغذية مباشرةً. يحسن المقلع النجمي–المثلثي Wauchope خصائص الإقلاع المرتبطة بالمقلع النجمي–المثلثي المعياري وذلك بإدخال مقاومة عند التبديل من التوصيل النجمي إلى المثلثي، وبشكل عرضي، يقدم ثلاث قفزات من التسارع عوضاً عن قفزتين كما هو الحال بالنسبة للمقلعات التقليدية.

يبين الشكل (14.15) تغيرات في التوصيل في المقلع Wauchope وتعاقب الإقلاع والتي تشمل بالتفصيل على:

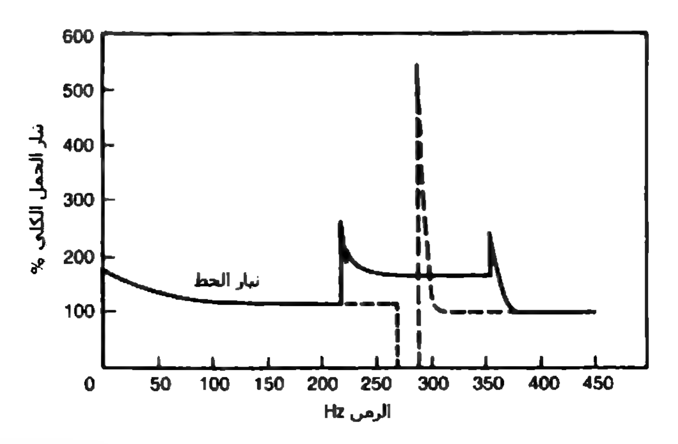


الشكل (14.15) تعاقب الإقلاع في المقلع Wauchope

a. المحرك موصول بشكل نجمي، ويسمح بالتسارع إلى سرعة الاستقرار بطريقة طبيعية.

b. ثم يتم توصيل ثلاث مقاومات على التوازي مع ملفات المحرك. يزداد تيار الخط بالمقدار الذي تسحبه هذه المقاومات، غير أن ذلك لا يؤثر على أداء المحرك، ويمثل ذلك ببساطة خطوة تحضيرية وتدخل في العمل لأجزاء من الثانية فقط.

c. تكون نقطة التوصيل النجمي للملفات مفتوحة في هذا الوقت، يلاحظ من الشكل (14.16) بأنه قد تم وصل المقاومات إلى ملفات المحرك بالشكل المثلثي مع مقاومة على التسلسل مع كل ملف. في هذه المرحلة يزداد الجهد عبر ملفات المحرك، ويعطي الزيادة المطابقة في العزم، ويتسارع المحرك إلى سرعة ثابتة أعلى.



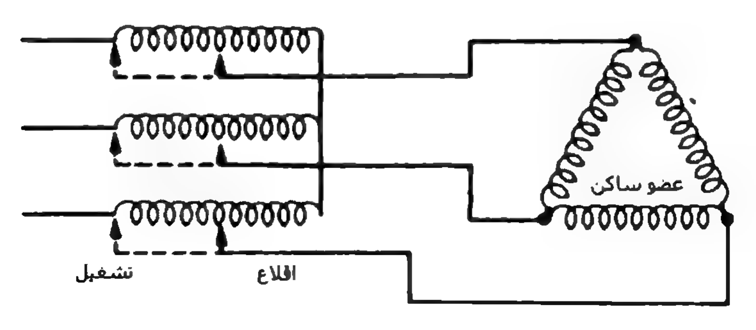
الشكل (14.16) تغيرات تيار الخط خلال الإقلاع النجمي-المثلثي. المقلع Wauchope مشار إليه بالخط المستمر. المقلع القياسي مشار إليه بالخط المنقط

d. من ثم تقصر المقاومات، ويتم وصل ملفات المحرك بالشكل المثلثي عبر جهد الخط الكامل، ويتسارع المحرك إلى السرعة القصوى وبذلك تكتمل عملية الإقلاع.

يبين الشكل (14.16) تيار الإقلاع الناتج من أجل آلة تستخدم المقلع النجمي-المثلثي من النوع Wauchope.

الإقلاع بالمحولة الذاتية: ينحصر استخدام المحولة الذاتية في الحالات التي تتطلب حدودا معرفة لتيار الإقلاع، والمنظومة مبينة في الشكل (14.17)، حيث تكون المحولة

مفصولة عن مصدر التغذية في وضعية التشغيل. تمكن مفرعات المحولة من اختيار جهد الإقلاع بغية الحصول على عزم الإقلاع المطلوب للحمل. يساوي كل من عزم وتيار الإقلاع إلى مربع نسبة تفريع المحولة مضروباً بقيمة التحويل المباشرة، ومثال على ذلك تفريع 50% يعطي $(1/2)^2$ أو 25% من قيمة التحويل المباشر.

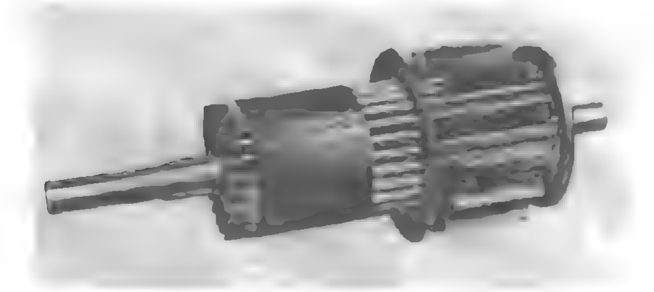


الشكل (14.17) الإقلاع بالمحولة الذاتية للمحركات ذات القفص

الإقلاع بالمقاومة الأولية: في هذه الطريقة من الإقلاع منخفض الجهد، يتصل العضو الساكن عبر مقاومة تسلسلية ثلاثية الطور قابلة للضبط. عندما يتسارع المحرك، يتم قصر هذه المقاومة بخطوة أو عدة خطوات. في هذه الطريقة، ومن أجل عزم إقلاع معين، نحتاج إلى تيار خط أكبر مقارنة مع الطرق الأخرى. فمثلاً يعطي 50% من جهد الخط والتيار قيمة 25% عزم، أما نسبة 80% من جهد خط وتيار فهي تعطي قيمة 64% عزم. وهنا يتم تجنب القفزات العالية للتيار.

يتحدد عدد المقلعات بمعدل المقاومة، عندما يتم استعمال محركات بعزم كبير، تقدم هذه الطرق وفراً في التكلفة الأولية، وأيضاً فإن البنية المتينة والبسيطة ستؤدي إلى انخفاض تكاليف الصيانة بشكل كبير. عندما لا يكون من المهم تحديد تيار الإقلاع بشكل حاد فإن إيجابيات هذه الطريقة تؤدي بنا لاستخدامها بشكل واسع. أما في حالات الطوارئ أو الأعطال تتيح هذه الطريقة مجالاً كبيراً من الحلول الإبداعية.

محرض تيار فوكو المتكامل: حصل تطور آخر في تصميم قفص العضو الدوار أدى إلى الحصول على عزم كبير عند تيار منخفض. تضمن هذا التصميم إدراج محرض تيار فوكو كجزء من العضو الدوار، الشكل (14.18)، وقد صنع في مجال الخرج من 18.5 kW إلى 150 kW والمستخدم كبديل للمحركات ذات العضو الدوار المجهز بلفات. ويعرف هذا المحرك بمحرك القفص الأنبوبي، وهو ذو خصائص أداء متفوقة من حيث تردد الإقلاع وقيادة الأحمال العطالية العالية، بينما يتطلب فقط مقلع رخيص مركب بشكل مباشر على الخط. يستخدم قفص العضو الدوار والذي يمتلك قلب على امتداد (نفس الخط) القلب المتعلق بالعضو الساكن، ولكن مع قضبان العضو الدوار النحاسية الممتدة حتى نهاية القيادة العكسية للمحرك. هذا الامتداد يحتل الفراغ الذي كانت تشغله عادة حلقات الانزلاق لمحرك العضو الدوار ذي اللفات.

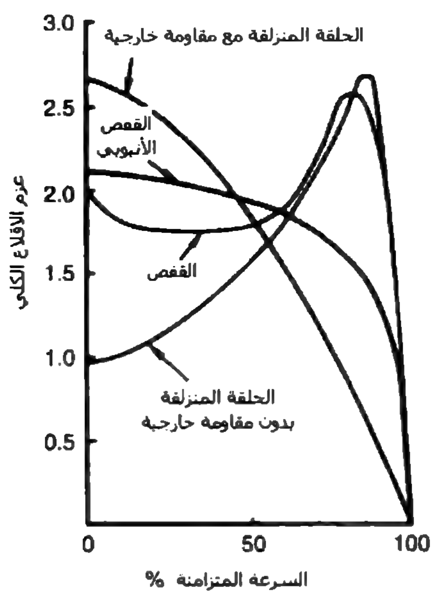


الشكل (14.18) محرك تيار فوكو بأربعة أقطاب واستطاعة 30 KW (محرك القفص الأنبوبي)

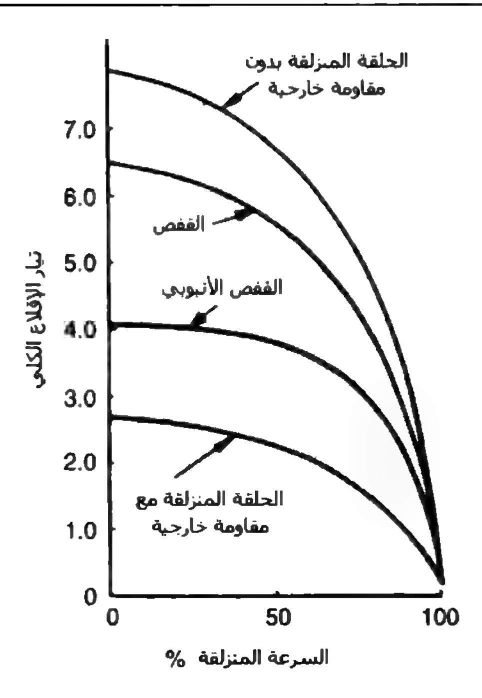
يمر كل قضيب عضو دوار ممتد من خلال أنبوب فولاذي مغلق مناسب قبل وصله إلى حلقة قصر الدارة الاعتيادية. تعزل قضبان العضو الدوار ضمن أخاديد وأنابيب بواسطة مواد عالية الحرارة. تتصرف مجموعة القفص الأنبوبي كسلسلة من المحولات المقصورة حيث تمثل قضبان العضو الدائر ملفات الأولي الخاصة بهذه المحولات، بينما يشكل الأنبوب كلاً من القلب والملف الثانوي لهذه المحولات والتي يتم قصرها عن طريق الأقراص الداعمة. تصنع الأنابيب من الفولاذ ولذلك تبدي مقاومة كهربائية عالية تتزايد بشكل إضافي عندما يكون التيار الأولي (بمعنى آخر العضو الدوار) عند

تردد التغذية الرئيسية. وهذا ناتج عن تأثير الظاهرة السطحية، وهذا ما يجعل مقاومة الأنبوب الفعلية متعلقة بتردد العضو الدوار وبالتالي بسرعة المحرك.

عند الإقلاع، بتيار العضو الدوار عند تردد التغذية الرئيسية، يتدفق تيار طولاني في الأنابيب ويضيف ممانعة إلى دارة العضو الدوار، تعتمد كلاً من مقاومة هذه الممانعة ومفاعلتها التحريضية على تيار العضو الدوار والتردد وبالتالي تتناقص هذه الممانعة كلما تسارع المحرك باتجاه السرعة القصوى، وهذا الضبط الآلي للمانعة هو ما يعطي محرك القفص الأنبوبي خصائص العزم والتيار والسرعة. قيمة التيار اللازم عند الإقلاع أقل مقارنة مع آلة ذات قفص عادي في حين تزيد المقاومة الإضافية من عزم الإقلاع. تبين الأشكال (14.19) و(14.20) علاقة محركات القفص الأنبوبي إلى القفص ومحركات الحلقات المتزلقة.



الشكل (14.19) أداء محرك القفص الأنبوبي بالمقارنة مع منحنيات العزم/السرعة لمحركات القفص والحلقة المنزلقة



الشكل (14.20) أداء محرك القفص الأنبوبي بالمقارنة مع منحنيات تيار الحمل الكامل/السرعة لمحركات القفص والحلقة المنزلقة

القفص مقابل الحلقة المنزلقة: يمكن أن يتم اختيار محرك الحلقة المنزلقة لتطبيق خاص وتفضيله على آلة ذات قفص وذلك لواحد أو أكثر من الأسباب التالية:

1. لتمديد تيار الإقلاع المسحوب من الخط
2. للحصول على قيمة عالية لعزم الإقلاع من أجل تيار منخفض نسبياً مسحوب من الخط
3. للحصول على التحكم بالسرعة

إذا كان من الممكن استخدام المحرك القفصي، فإن ذلك سيؤمن السبب الأول أو الثاني من أجل وظيفة خاصة، وسيكون من الممكن الاستغناء عن آلة ذات حلقة

منزلقة عند تلك النتيجة المحددة. يعتمد كلاً من عزم وتيار الإقلاع للمحركات القفصية على خصائص العضو الدوار المستخدم، وهناك مجال واسع لاختيار المحرك لأنواع مختلفة من القيادة.

محرك قفصي "عالي المقاومة": كما هو الحال بالنسبة لمحرك الحلقة المنزلقة (العضو الدوار الملفوف)، يمكن زيادة عزم محرك الإقلاع باستعمال العضو الدوار مع مقاومة أعلى، ولكن بسبب وجوب بقاء هذه المقاومة في الدارة بشكل دائم (كما هو الحال في المحرك القفصي العادي)، فإنه لا يمكن أن تكون عالية جداً إذا طلب من المحرك الاحتفاظ بأية خاصية مثل الفعالية العالية.

تم استخدام العضو الدوار ذي المقاومة العالية في العديد من التطبيقات مثل مطارق الحدادة والمكابس الآلية. يسمح للمحرك بالتباطؤ عند ارتفاع الحمل، وبالتالي يمكن استخدام القدرة المختزنة في الحدافة (الدولاب المعدل) وبقية الأجزاء المتحركة للمنظومة لإراحة المحرك عند الحمولات الثقيلة جداً عن طريق ذلك أيضاً، يخفف خط التغذية العبء عند ذرى التيارات الكبيرة جداً، وذلك لأن ذروة العزم الإضافية ناتجة عن الدولاب المعدل وليس عن المحرك. لذلك في مثل هذه الآلات، وبما أن الحمل يكون ذا طبيعة متقطعة، فإن الكفاءة لا يكون لها الأهمية الكبيرة كسعة الحمل الزائد.

استخدمت الأعضاء الدوارة ذات المقاومة العالية جداً في الروافع والآلات الرافعة حيث يكون العزم اللازم للإقلاع كبيراً جداً، ولكن بشكل عام يمكن القول بأن عدم فعاليتها تمنع استخدامها في أي حالة يمثل فيها استهلاك الطاقة عاملاً مهماً، إلا إذا وجدت بعض الإيجابيات المعروفة التي يمكن اكتسابها.

المحرك ثنائي القفص عالي العزم: للتغلب على سلبيات المحرك القفصي، وتجنب استخدام المحرك ذي الحلقة المنزلقة المكلف أكثر مع عناصر التحكم المرتبطة به، تم اللجوء إلى شكل مختلف عن طريق استخدام العضو الدوار ثنائي القفص والذي تزداد فيه مقاومة الدوار ذو القفص بشكل مؤقت أثناء فترة الإقلاع.

يتكون الدوار ذو القفص المزدوج في أبسط أشكاله من قفصين منفصلين، القفص الخارجي أو قفص الإقلاع والذي يبنى عادةً من مواد ذات مقاومة عالية ويرتب بحيث يمتلك أدنى مفاعلة تحريضية ممكنة، والقفص الداخلي وهو من نوع المقاومة

المنخفضة العادية، وبما أنها تتغلغل بعمق في الحديد، فهي تمتلك مفاعلة تحريضية عالية. يمكن للمسميات الأربعة - المفاعلة والمقاومة والقفص الخارجي والقفص الداخلي - أن تتغير بعدد غير محدد من التركيبات وبالتالي يمكن الحصول على العديد من الأشكال المختلفة لمنحنيات العزم-السرعة.

الجدول (14.1) الكفاءة وعامل الاستطاعة للمحركات التحريضية رباعية الأقطاب بالحمل الكامل وبتردد 50Hz

فيما يلي قيم متوسطة للمحركات القياسية العاملة في المجال 1440 إلى 1470 دورة/دقيقة

عامل الاستطاعة				الفعالية				الاستطاعة KW
		أحادي الطور				أحادي الطور		
ثلاثي الطور	ثنائي الطور	مكثفة	مجزأ الطور	ثلاثي الطور	ثنائي الطور	مكثفة	مجزأ الطور	
				%	%	%	%	
0.81	0.79	0.90	0.80	74	73	70	65	3/4
0.81	0.79	0.90	0.81	78	76	74	69	1 1/8
0.84	0.82	0.91	0.82	80	78	76	72	1 1/2
0.84	0.82	0.92	0.82	83	82	78	74	2 1/4
0.84	0.82	0.93	0.82	84	83	80	76	3
0.87	0.85	0.94		86	85	83		3 3/4
0.87	0.85	0.94		86	85	83		5 5/8
0.88	0.86	0.94		88	87	84		7 1/2
0.88	0.86	0.90		88	87	84		9 3/8
0.89	0.87	0.90		88	88	85		11 1/4
0.90	0.88	0.90		90	88	86		15
0.90	0.88			90	89			22 1/2
0.90	0.89			90	90			30
0.91	0.90			91	91			37 1/2
0.91	0.90			91	91			56 1/4
0.92	0.91			92	92			75

الجدول (14.2) تيارات الحمل الكامل (أمبير) لمحركات التيار المتناوب

الفيم أدناه قد تختلف قليلاً بالنسبة للأنواع المختلفة للمحركات لكن يمكن القبول بهذه القيم كونها دقيقة بشكل معقول

	أحادي الطور																	
	محرك جهد V					مكثفة V					ثنائي الطور V				ثلاثي الطور V			
KW	100	200	230	400	480	100	200	230	400	480	200	400	200	220	350	400	440	500
¾	12.9	6.5	5.6	3.2	2.7	11.6	5.9	5.1	2.9	2.4	2.9	1.4	3.4	3.1	2	1.7	1.5	1.4
1 ½	24	12	10.4	6	5	22	11	9.5	5.4	4.5	5.7	2.9	6.6	6	3.8	3.3	3	2.6
2 ¼	35	17	15	9	7	31	15	13	7.8	6.5	8.4	4.2	9.8	8.9	5.7	4.9	4.5	3.9
3	45	23	20	11	9.4	40	20	18	10	8.5	11	5.6	13	12	7.5	6.5	6	5.2
3 ¾	56	28	25	17	12	51	25	22	13	11	14	6.8	16	14	9.1	7.9	7	6.3
4 ½	66	33	29	17	14	60	29	26	15	13	16	8.1	19	17	11	9.4	8.2	7.5
5 5/8	82	41	36	21	17	74	37	33	19	15	20	10	24	21	14	12	11.5	9.4
6	87	43	38	22	18	78	39	34	20	16	21	11	25	22	15	13	12	9.8
7 ½	109	54	47	27	23	98	48	42	24	20	26	13	30	27	17	16	14	12
11 ¼	159	79	69	40	33	147	73	64	37	31	38	19	44	40	26	22	20	18
15	209	105	91	52	44	193	97	84	48	41	50	25	58	53	34	29	26	23
16 ¾	256	128	111	64	53	237	118	103	59	49	62	31	72	66	42	36	33	29
22 ½	306	152	134	77	64	283	142	124	71	59	74	37	86	78	50	43	39	34
30	400	200	174	100	83	370	185	161	93	77	96	48	111	101	64	56	51	45

الجدول (14.2) /تابع/

KW	أحادي الطور – مجرى جهد V					أحادي الطور – مكثفة V					ثنائي الطور V				ثلاثي الطور V			
	100	200	230	400	480	100	200	230	400	480	200	400	200	220	350	400	440	500
37 1/2	487	244	212	122	102	450	226	196	113	94	118	59	137	124	79	68	62	55
45	586	292	254	147	122	542	270	235	136	113	140	70	162	147	94	81	74	65
56 1/4	715	358	310	179	150	662	330	287	166	139	171	86	198	180	114	99	90	79
75	941	471	410	235	196	870	435	380	217	182	228	114	263	239	152	132	120	105
102 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	336	168	388	356	225	194	176	155
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	446	223	517	468	299	258	235	207

يمكن الحصول على التيار اللازم لأي محرك تيار متناوب من المعادلات التالية. يمكن الحصول على عامل الاستطاعة والمردود من الجدول (14.1)

أحادي الطور:

$$\text{التيار} = \frac{1000 \times KW}{\text{الجهد} \times \text{عامل الاستطاعة} \times \text{المردود}}$$

ثلاثي الطور:

$$\text{التيار} = \frac{1000 \times KW}{1.732 \times \text{جهد الخط} \times \text{عامل الاستطاعة} \times \text{المردود}}$$

ثنائي الطور: أربعة أسلاك تغذية

$$\text{التيار} = \frac{1000 \times KW}{2 \times \text{جهد الخط} \times \text{عامل الاستطاعة} \times \text{المردود}}$$

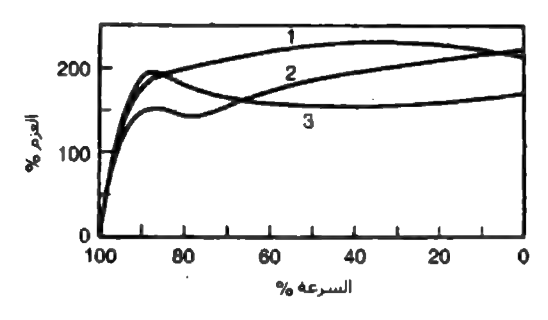
ثنائي الطور: بثلاثة أسلاك تغذية

التيار - كما هو مبين أعلاه في الخطوط الخارجية

= 1.141 × القيمة المبينة أعلاه في الخط المشترك

عند الإقلاع، يكون تردد التيارات في نواقل العضو الدوار هو نفسه تردد التغذية، وبالتالي تقوم المفاعلة العالية في القفص الداخلي بتوليد تأثير تحديد (limiting) بتخفيض التيار المار في هذا الملف. يقوم القفص الخارجي، بفضل مقاومته العالية، بتوليد عزم إقلاع كبير يعتمد بشكل كبير على قيمة مقاومته. عندما يتسارع العضو الدوار ويصل إلى سرعة التزامن، يهبط تردد القوة المحركة الكهربائية في النواقل وتنخفض المفاعلة التحريضية الفعالة في القفص الداخلي. حالياً يحمل القفص الداخلي بشكل عملي كامل التيار حتى الوضع النهائي، حيث يعمل العضو الدوار بخصائص دوار عادي بمقاومة منخفضة قرب سرعة التزامن. والمحصلة العامة هي إنتاج آلة ذات عزم إقلاع كبير وكفاءة تشغيل عالية بقيم صغيرة لتيار الإقلاع إلى حد ما. غالباً ما يسمح عزم الإقلاع الأكبر بإقلاع محرك مزود بالحمل عند جهد مخفض مقابل ما يحتاجه من تسارع غير كبير. من خلال تغيير القيم النسبية للمقاومة والمفاعلة، يمكن الحصول على تنوع كبير لخصائص العزم–السرعة كما في الشكل (14.21).

على سبيل المثال، يولد أحد أنواع محركات العزم المرتفع القياسية المتوفر حتى 55 kW للتبديل المباشر، ضعف عزم الحمل الكامل عند الثبات على الأقل، ويستجر تيار إقلاع بحدود 350% من تيار الحمل الكامل. وفي مجال آخر للآلات القياسية، وللإقلاع النجمي–المثلثي، يتم توليد 100% من عزم الحمل الكامل عند الإقلاع في التوصيل النجمي، ويكون تيار الإقلاع 175% – 150 من تيار الحمل الكامل.



الشكل (14.21) منحنيات العزم/السرعة لمحركات متنوعة ثنائية القفص

من الجدير بالذكر أن كلفة الآلة ثنائية القفص ومسنن الإقلاع هي أقل بكثير من كلفة محرك الحلقة المنزلقة المكافئ ذي مقلع المقاومة ويتم الحصول على الأداء من دون التضحية بكفاءة التشغيل.

المحركات التحريضية ذات السرعة العالية الإضافية: تحتاج بعض أنواع الآلات المعينة لتشغيل الخشب والمعادن، والأدوات المحمولة لسرعات دوران عالية جداً (حتى 27000 rpm). لا يمكن الحصول على مثل هذه السرعات بالقيادة المباشرة لمحرك تحريضي عادي يتغذى بالتردد القياسي 50 Hz حيث تكون السرعة الأعظمية 3000 rpm (المتعلقة بقطبين). في مثل هذه الحالات الخاصة، حيث تكون القيادة المباشرة مفيدة جداً، تحل المشكلة برفع تردد تغذية المحرك. ويمكن تنفيذ ذلك عبر مجموعة لتعديل التردد أو جهاز لتقوية التردد. وجهاز تقوية التردد هو عبارة عن محرك تحريضي بحلقة منزلقة، عند تغذيته من مصدر تغذية التيار المتناوب الرئيسي وقيادته في الاتجاه المعاكس لدوران الحقل المغناطيسي لملفات الأولي، يمكن الحصول على تردد تغذية عال من ملفات الثانوي. يمكن تشغيل إما العضو الساكن أو العضو الدوار كملف أولي، ويعتمد الاختيار على أيهما أكثر ملاءمةً لمتطلبات الجهد والتيار. يمكن قيادة جهاز التقوية عن طريق محرك (إما مباشرةً أو عبر سير مقترن) أو عن طريق أي مصدر طاقة ميكانيكية آخر. يمكن من خلال سرعات محرك قيادة مختلفة وملفات تهييج توليد ترددات مختلفة كما أسلفنا عن طريق العلاقة التالية:

$$\text{خرج التردد العالي} = \text{تردد التهييج} + \left(\text{أزواج أقطاب جهاز التقوية} \times \frac{\text{عدد دورات المحرك}}{60}\right)$$

هناك تدابير احترازية ضرورية عند تركيب مجموعة المفاتيح الكهربائية. مفاتيح إقلاع محرك القيادة يجب أن تكون متشابكة مع مفاتيح التحكم بمصدر تغذية الطاقة للعضو الدوار والعضو الساكن للآلة التحريضية، وبحيث يكون من المستحيل وصل كل من دخل وخرج وحدة التردد العالي قبل اكتساب الآلة للسرعة. بشكل مشابه، يجب أن تتم عملية الترتيب بحيث يتعثر دخل وخرج دارات جهاز التقوية في نفس اللحظة التي تتعثر بها دارة المحرك.

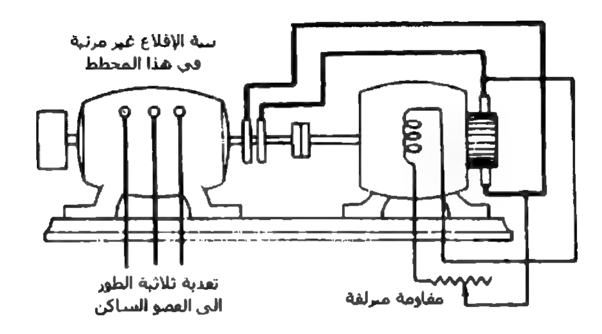
تصمم الأداة الكهربائية القياسية المحمولة ذات التردد العالي للعمل بالتردد 200 Hz. بالمقارنة مع نوع المحرك "العام" Universal، لا تنخفض السرعة بموجب الحمل المطبق، وليس هناك مبدلات أو مسفرات لتبلى أو لتستبدل.

المحركات المتزامنة

بشكلٍ أساسي، فإن المحرك المتزامن عبارة عن مولد تيار متناوب (منوّبة) معكوس، وغالباً ما يستخدم من أجل تصحيح عامل الاستطاعة. وكما يشير اسمه، فإنه يمتاز بسرعة ثابتة (يعمل عند سرعة تزامن من أجل كافة الأحمال)، ويمكن السيطرة على عامل الاستطاعة المتعلق به عبر تغيير تيار التهييج. وبالتالي يمكن أن يعد ليتخذ تياراً متقدماً بهدف تحسين عامل الاستطاعة. لا يمكن للمحرك المتزامن بحد ذاته أن يقلع ذاتياً، ويجب أن يكون متزامناً مع التغذية لدى اكتسابه للسرعة عن طريق محرك إقلاع خاص أو عبر أي أداة أخرى.

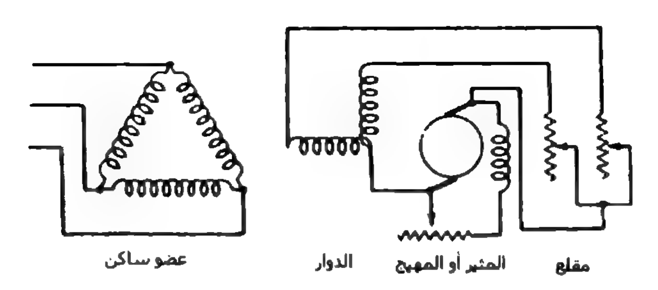
المحرك المستقل بذاته: بالعودة للشكل (14.22) الذي يوضح منظومة محرك متزامن مستقل بذاته يناسب قيادة حمل ثابت ولكنه لا يبين طريقة الإقلاع المستخدمة. يتم وصل التغذية ثلاثية الطور مباشرةً إلى العضو الدوار، بينما نحتاج إلى تغذية بالتيار المستمر من أجلِ عملية التهييج، ويمكن تأمينها عبر منظومة تيار مستمر مستقلة (تستخدم أحياناً بتواجد عدد من المحركات في الخدمة) أو من مهيج مستقل مركب مباشرةً إلى المحرك كما هو مبين. يتم التحكم بعامل الاستطاعة من خلال تغيير التهييج الأمر الذي يخضع للتنظيم في المحركات الكبيرة بواسطة مقاومة منزلقة في دارة حقل التهييج.

لا يمتلك هذا النوع من المحركات، بأبسط شكل له، عزم إقلاع، ولهذا السبب لن يقلع عند الحمل، وأيضاً لدى تجاوز سعة التحميل الزائد، يقلع المحرك بحالة مضطربة (غير منتظمة) ومن ثم يتوقف، وبالتالي فإن إقلاعه ومزامنته يجب أن يتمان بالأسلوب المعتاد.



الشكل (14.22) شكل تخطيطي لمحرك مع مهيج. يتم التحكم بكامل الاستطاعة خلال مقاومة منزلقة في دارة تهييج المهيج

المحرك التحريضي المتزامن: يبين الشكل (14.23) الشكل التخطيطي النموذجي للمحرك التحريضي المتزامن ذاتي الإقلاع، يتضح بأنه وبمساعدة مقاومة الإقلاع فإن الآلة ستقلع كمحرك تحريضي ولدى الوصول للسرعة القصوى يتم كبح المحرك حتى حالة التزامن (مقابل الحمل الكامل إذا تتطلب الأمر) ومن ثم يتم قصر مقاومة الإقلاع.



الشكل (14.23) محرك تحريضي متزامن. يستخدم دوار ثنائي الطور. يبرز المخطط طريقة الإقلاع كالمحرك التحريضي

تستخدم الملفات ثنائية الطور على العضو الدوار وترتب بحيث تستخدم نقطة الحيادي كنقطة توصيل واحدة لدارة التهييج.

الجدول (14.3) سرعة التزامن وسرعة الدوران عند انزلاق 4%

عدد أقطاب العضو الساكن	السرعة المتزامنة عند 50Hz دورة/دقيقة	سرعة العضو الدوار عند انزلاق 4%
2	3000	2880
4	1500	1440
6	1000	960
8	750	720
10	600	576

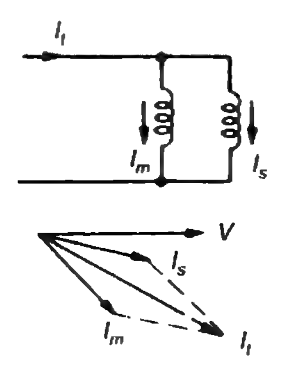
التذبذب Hunting: واحدة من مزايا المحرك المتزامن أنه قد يتذبذب تحت تأثير الحمل. تم تجنب ذلك في المحركات الصناعية الحديثة عبر استخدام ملفات تخميد يتم فيها توليد تيارات إعصارية نتيجة تغيرات السرعة المؤدية للتذبذب. يحدث هذا التذبذب على الأرجح بسبب ضعف التهييج أكثر من قوة التهييج وبالتالي غالباً ما يتم التخلص من التذبذب المؤقت عبر تقوية الحقل.

المحركات أحادية الطور

عند عدم توفر التغذية ثلاثية الطور، تنفذ معظم التطبيقات التي تحتاج لطاقة صغيرة باستعمال المحركات أحادية الطور. وفي غالبية هذه الظروف عند توفر مصدر تغذية ثلاثي الطور، قد يتم الحصول على بعض التوفير من جراء استعمال الآلات أحادية الطور وذلك بسبب البساطة في أسلوب التوصيل وعلبة التحكم.

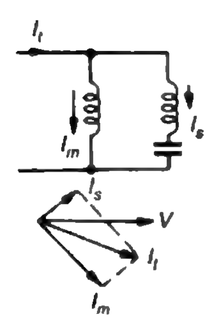
يجب أن يكون للمحرك الكهربائي حقل مغناطيسي دوار بغية جعله محركاً ذاتي الإقلاع، وهذا ما توفره الإزاحة الطورية للتغذية ثلاثية الطور، ولكن يحتاج المحرك أحادي الطور إلى ملفات (إقلاع) مساندة مصممة لتأمين إزاحة مشابهة من أجل التغذية ثنائية الطور قبل أن يتم توفير هذا التأثير. ويمكن بلوغ ذلك عبر عدد من الطرق، كل منها يؤدي إلى محرك بمجموعة مختلفة من الخصائص. معظم المحركات المعروضة فيما يلي هي من النوع التحريضي، وفقط سلسلة المحركات التنافرية هي محركات ذات أعضاء دوارة بلفات.

المحرك مجزأ الطور Split-phase motor: يستخدم ملف إقلاع المحرك مجزأ الطور المبين في الشكل (14.24) سلكاً دقيقاً ذا مقاومة عالية، وهو كذلك منظم بحيث يمتلك مفاعلة منخفضة، وبالتالي فإن تيار ملف الإقلاع يتقدم عنه تيار الملف الرئيسي مما يسبب نشوء حقل مغناطيسي دوار شبيه بالحقل اللازم للمحرك ثنائي الطور. يعمل ملف الإقلاع عند كثافة تيار عالية ويجب فصله إذا كان ممكناً وبسرعة لدى بلوغ الآلة سرعة تعادل 75% من سرعة الحمل الأقصى. إن هذا النوع من المحركات ملائم للأحمال العطالية المنخفضة وللإقلاع المتباعد. إن تيار الإقلاع كبير نسبياً ويجب أخذه بعين الاعتبار لدى التركيب، وذلك لتجنب هبوط الجهد الحاد.



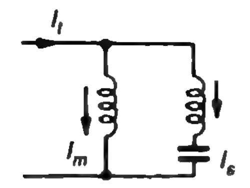
الشكل (14.24) المحرك مجزأ الطور

محرك بمكثف إقلاع Capacitor start motor: يتم إدراج مكثفة على التسلسل مع ملف الإقلاع بغية التخفيف من المفاعلة التحريضية إلى قيمة منخفضة أو حتى سالبة، الشكل (14.25). لذلك يتقدم تيار ملف الإقلاع على تيار الملف الرئيسي بما يقارب 90°. يتم استخدام مكثفة تيار متناوب إلكتروليتية كبيرة، وبسبب معدلها الزمني القصير، يجب فصلها حال اكتساب المحرك 75% تقريباً من سرعة الحمل الأقصى. يعد هذا المحرك ملائماً للأحمال العطالية الكبيرة أو الإقلاع المتكرر أكثر من المحرك مجزأ الطور ويؤدي إلى تحسين عزم الإقلاع وخفض تيار الإقلاع.



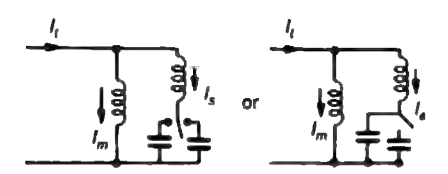
الشكل (14.25) محرك بمكثفة إقلاع

محرك بمكثفة إقلاع وعمل Capacitor start and run motor: توصل المكثفة الورقية (Paper capacitor) بشكل دائم مع ملف الإقلاع على التسلسل، الشكل (14.26). يكون عزم الإقلاع منخفضاً ولكن يصل أداء التشغيل لأداء الآلة ثنائية الطور. بشكل عام يعتبر هذا النوع من المحركات أكثر هدوءاً من المحركات ذات مكثفة الإقلاع أو محركات مجزأ الطور، وهناك تحسن بالفعالية وعامل الاستطاعة.



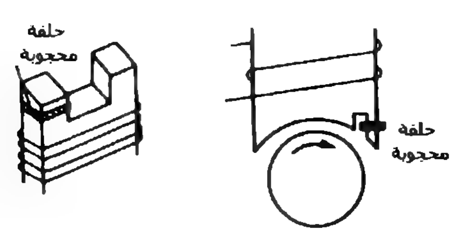
الشكل (14.26) محرك بمكثفة إقلاع وعمل (المخطط الطوري في الشكل 14.25)

محرك بمكثفة إقلاع ومكثفة عمل Capacitor start, capacitor run motor: تستخدم هذه الآلة مكثفة إلكتروليتية كبيرة بغية الإقلاع، ويتم فصلها بعد اكتساب السرعة، وتترك مكثفة ورقية صغيرة في الدارة خلال استمرار عمل الآلة، الشكل (14.27). وبالتالي يندمج أداء الإقلاع الجيد للمحرك مع مكثفة الإقلاع مع أداء التشغيل الجيد لآلة ذات مكثفة إقلاع وعمل.



الشكل (14.27) محرك بمكثف إقلاع، ومكثف عمل. المخطط الطوري مبين في الشكل (14.25)

محرك بقطب محجوب Shaded-pole motor: تتوضع حلقة نحاسية مقصورة الدارة حول جزء من كل قطب، وتمتلك هذه الحلقة تيارات تحرضت فيها بفعل المحولة، وهذا ما يسبب تأخر الفيض في الجزء المحجوب عن الفيض في القطب الرئيسي مما يؤدي إلى نشوء حقل دوار. يكون عزم الإقلاع صغيراً والفعالية ضعيفة وذلك لأن الضياعات تقع باستمرار في الحلقة المحجوبة، الشكل (14.28).



الشكل (14.28) محرك بقطب محجوب

تفاصيل الأداء النموذجي: يقدم الجدول (14.4) تفاصيل أداء المحركات المختلفة المعروضة أعلاه ويقارنها مع آلة ثلاثية الطور بحجم مكافئ. تم اعتبار المحركات جميعها ذات استطاعة صغيرة.

أدوات الدارة المفتوحة: تمت الإشارة إلى أدوات الدارة المفتوحة في كل من محركات مجزأ الطور، مكثفة الإقلاع، التشغيل التحريضي، ومكثفة الإقلاع-مكثفة العمل. تم تزويد هذه الآلات بأدوات لفتح دارة ملف الإقلاع عند تسارع الحمل إلى سرعة

معينة. تكون الأدوات في بعض الحالات عبارة عن ريليه أو وشيعة عاملة توصل على التسلسل مع ملف التشغيل أو على التوازي مع ملف الإقلاع لتأمين التماس الذي يفتح ملف الإقلاع. ومع ذلك، تستخدم في أغلب الأحيان منظومة سرعة ذات تصميم حساس تعمل بالقرب من نقطة القطع لمنحنيات العزم–السرعة لملف الإقلاع والعمل قدر الإمكان من أجل المحركات ذات القطبية أو ترددات التغذية المختلفة.

الجدول (14.4) تفاصيل أداء الآلات أحادية الطور مقارنة مع المحركات ثلاثية الطور المتماثلة بالحجم

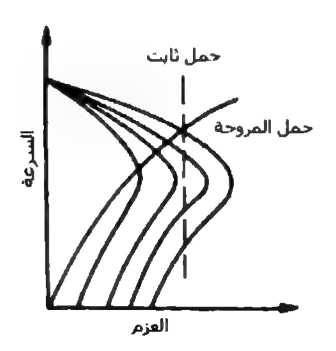
العنصر	ثلاثي الطور	مجزأ الجهد	مكثفة إقلاع	مكثفة إقلاع وتشغيل	القطب المحجوب
فعالية الحمل الكامل %	60/80	50/60	50/60	50/60	30
عامل استطاعة الحمل الكامل	0.6/0.8	0.6/0.7	0.6/0.7	0.9	0.5/0.7
تيار الإقلاع × تيار الحمل الكامل	6	8-11	5	4	2
عزم الإقلاع%	200	180	280	40	30
عزم التشغيل%	200	165	190	35	25
عزم الثبات%	250	200	200	150-250	120
تغيرات السرعة	بعض الشيء	لا يوجد	لا يوجد	بعض الشيء	بعض الشيء
الإقلاع (دورة/ساعة)					
القيود	-	تيار إقلاع عالي	زمن معدل المكثفة صغير	عزم إقلاع صغير	عزم إقلاع صغير وفعالية منخفضة
التطبيقات النموذجية		للاستخدام العام الذي لا يتطلب عزم أو تردد إقلاع كبيرين	عزم إقلاع كبير، تيار إقلاع صغير، لقيادة الحمولات العطالية الكبيرة كالمضخات والمكابس		عادةً يقتصر تطبيقها على قيادة المراوح أو حيث يكون عزم الإقلاع الصغير مقبولاً

* بعض تغيرات السرعة محتملة مع قيادة المروحة عبر تخفيض الجهد

تغيير السرعة: إن المحرك التحريضي هو آلة ذات سرعة ثابتة، ولكن عند ربطه مع محركات قيادة المراوح ذات مكثفة إقلاع وتشغيل وذات قطب محجوب، يمكن

التحكم به بغية الحصول على تغيير محدد في السرعة. سنرى لاحقاً كيف يسمح المبدل الساكن للآلة ذات القفص بالعمل بشكل اقتصادي أكثر عند السرعات المتغيرة.

يفشل إقلاع المحرك تحت ظروف الحمل الثابت عندما يكون الجهد منخفضاً دون قيمة معينة. على كل حال، يتغير الحمل الممثل عن طريق المروحة كتابع لمربع السرعة، وتستمر شروط التشغيل المستقر عند الجهود المنخفضة بالرغم من الضياعات في العزم، انظر الشكل (14.29).



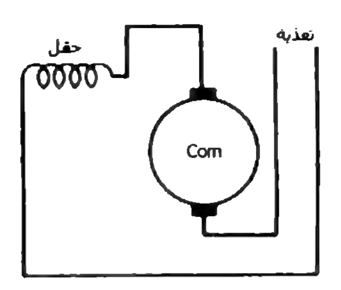
الشكل (14.29) التحكم بسرعة حمل المروحة

يمكن تحقيق تغيير الجهد بعدة طرق:

1. *المقاومات:* تحدث الضياعات الحرارية في المقاومات، ويحدث هبوط الجهد عند الإقلاع.
2. *ملفات التفريع:* الحذر عند ربط المروحة والمحرك ضروري وأساسي، حيث تسبب تغيرات جهد التغذية تغيرات غير قابلة للإصلاح في السرعة، مما يؤدي إلى بروز مشكلة تصنيعية.
3. *المحولة الذاتية أو Variac:* عادةً تكون هذه الوسائط مرتفعة التكاليف ويكون التحكم الآلي فيها صعباً.

4. *الثايرستورات:* يمكن أن تكون الثايرستورات مكلفة، ولكن تنامي استخدامها أدى إلى انخفاض هذه التكلفة. فهي تعد اقتصادية لأنظمة التحكم المتعددة. الضياعات المهملة عرضية، يمكن التحكم بها بسهولة عبر دارات خارجية كالترموستات بهدف التنظيم الآلي. هناك بعض المشاكل الناشئة بسبب التشوه التوافقي للتغذية العامة. لدى استخدام الثايرستور، يجب صرف اهتمام خاص لتيارات الذروة عند الاقتراب من ثلثي السرعة، والتي تؤدي إلى التسخين المفرط. يمكن أن ينخفض التحكم بالثايرستور إلى 10% من سرعة الحمل القصوى، وفي المجال الممتد بين 10% و 40% من سرعة الحمل الأقصى، يمكن أن يشكل الضجيج مشكلة.

المحرك بالمبدل التسلسلي أحادي الطور Single-phase series commutator motor: يشابه هذا النوع من المحركات آلات التيار المستمر ويعمل بشكل مرضٍ عند التغذية بتيار مستمر أحادي الطور الشكل (14.30).

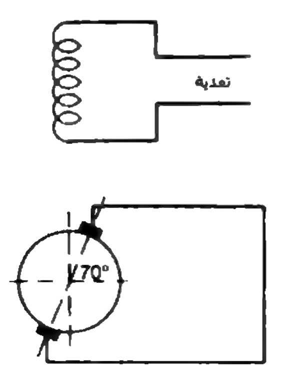


الشكل (14.30) محرك تسلسلي بسيط

تتشابه خواص السرعة-العزم لهذا المحرك مع نظيره للتيار المستمر. تستخدم مثل هذه المحركات بشكل واسع في التجهيزات أو المعدات المنزلية كالمكانس الكهربائية ووسائل الطاقة ... إلخ.

المحركات التنافرية Repulsion motors: هناك العديد من أشكال المحركات التنافرية، غير أن المبدأ الأساسي هو أن ملف العضو الساكن وبشكل مشابه للمحرك

التسلسلي يستخدم مع العضو الدوار الملفوف الذي يضم مبدل ذا دارة مقصورة. تتوضع المسفرات بزاوية (تقريباً "70) بالنسبة للحقل الرئيسي وبواسطة أثر المحولة يبدو أن فيض كل من الحقل والعضو المتحرض يصد كل منهما الآخر مما يقود لتوليد عزم بواسطة العضو الدوار الشكل (14.31).



الشكل (14.31) محرك تنافري مبسط

يمكن إقلاع المحركات التنافرية إما عن طريق مقاومة تسلسلية متغيرة أو عن طريق محولة ذاتية، حيث يمكن الحصول على عزم إقلاع كبير. بأخذ ذلك بالحسبان، يستخدم هذا المبدأ في إقلاع المحركات التنافرية النجمية التحريضية أحادية الطور. يكون العضو الدوار لهذا المحرك مماثلاً لذاك المستخدم في المحرك التنافري ولكن يتم بعد الإقلاع رفع المسفرتين وقصر دارة المبدل بالكامل بواسطة حلقة نحاسية، ومن ثم يعمل المحرك كمحرك تحريضي. تقوم سرعة المحرك التنافري بقيادة حمل بعزم ثابت، ويمكن أن يتم التحكم به إما عن طريق حركة المسفرات أو عن طريق تغيير الجهد المطبق على المحرك. يوصى عادةً بالطريقة الأولى لبساطتها ولأنها تجنبنا استخدام عناصر تحكم إضافية.

عادةً ما يشابه أداء المحرك التحريضي ذي الإقلاع عن طريق محرك تنافري لأداء آلة ذات مكثفة إقلاع بعزم عالي، تتوفر هذه المحركات حالياً فقط من قبل عدد محدود من المصنعين المختصين.

المعايير القياسية البريطانية British standards: يغطي الجزء 11 والجزء 99 من BS 5000 (IEC 60034-1) أداء معظم المحركات أحادية الطور الواقعة ضمن نطاق الطاقة الصغيرة، بينما تغطي المواصفة BS 2048 أبعاد المحركات.

تغيرات سرعة محركات التيار المتناوب

لا تسمح الأنواع القياسية لمحركات التيار المتناوب بأي تغيير حقيقي في السرعة، لأن سرعاتها ثابتة بسبب ثبات تردد التغذية الذي تعمل عليه. تمتلك المحركات المتزامنة سرعة ثابتة بالتأكيد ويمكن الافتراض بأن المحرك التحريضي يكتسب سرعة ثابتة عندما لا يتجاوز الانزلاق الأعظمي بشكل عام 5% عند تغذيته بتردد متغير عن طريق مبدل ساكن، ويمكن عن طريق مقاومات العضو الدوار الحصول على تغيرات محددة للسرعة.

التحكم بمقاومة العضو الدوار: تقترب خواص الآلة ذات الحلقة المنزلقة مع التحكم بمقاومة العضو الدوار بشكل ضيق جداً من تلك التابعة لمحرك التيار المستمر التسلسلي الذي تزداد فيه السرعة بتناقص الحمل، لذلك، يمكن أن تستخدم بشكل مرضٍ فقط في تنظيم السرعة عند ثبات الحمل إلى حد ما. إن تخفيض السرعة عن طريق التحكم بمقاومة العضو الدوار فيه إسراف للطاقة بسبب الضياعات في المقاومة، ويتبدى ذلك في انخفاض الفعالية الإجمالية. بشكل عام، لا يمكن الحصول على تحكم دقيق بالسرعة، وبشكل مرضٍ، دون 30-40% من السرعة القصوى لأن أي تغيير طفيف على الحمل يؤدي إلى آثار واسعة على السرعة، أضف إلى ذلك توقع مواجهة صعوبات في الحفاظ على ثبات السرعة. بسبب تغير المقاومة مع حرارة المقاومات الخارجية فإن السرعة تنزع للانحدار كلما ازدادت درجة حرارة مقاومة التحكم. باستخدام مقاومة خارجية ملائمة من النوع السائل يمكننا الحصول على تغيرات تدريجية للسرعة ضمن الحدود، ولكن عن طريق مقاومة معدنية وآلية تحكم شبكية أو آلية تحكم أسطوانية، يتحدد عدد تدرجات السرعة طبعاً بعدد وضعيات آليات التحكم هذه، والمقاومة المختارة لتناسب هذه التدرجات.

محركات تغيير القطب Pole-changing motors: بسبب اعتماد سرعة المحرك التحريضي على عدد الأقطاب، من الممكن الحصول على سرعتين أو ثلاث أو أربع سرعات مختلفة عن طريق ترتيب ملف العضو الساكن بحيث يسمح بتغيير عدد الأقطاب (بحيث يصبح عدد الأقطاب قابلاً للتغيير). وهنا يمكن الحصول على نسب تغيير السرع 2:1 من ملف تفرعي واحد وعلى النسب الأخرى عبر ملفين منفصلين. يمكن ضم المجموعتين عند التغذية بتردد 50 Hz للحصول على سرعات لنقل: 500، 1000، 1500، 3000 دورة/دقيقة. فإذا علمنا أن هذه الطريقة لا تسمح بالحصول على سرعات بينية (بين القيم المعطاة)، تستعمل هذه المحركات أحياناً مع أدوات الآلات كما في آلات الثقب، على سبيل المثال كونها تقدم تغيير مناسب جداً في السرعة.

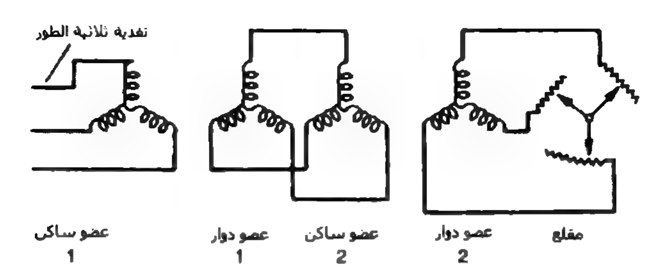
محركات تعديل سعة القطب PAM motors: إن تعديل سعة القطب (Pole Amplitude Modulation) عبارة عن منظومة من الملفات التي توفر معدلات سرعة متغيرة عبر تغيير القطب دون الحاجة لملفات منفصلة. سجلت هذه المنظومة باسم البروفسور Rawcliffe من جامعة Bristol وهي تطوير لملفات Dahlander أحادية التفريع ذات النسبة 2:1 الأصلية العائدة لعام 1897.

يتم استخدام ملف أحادي التفريع حيث يمكننا تغيير توزع الفيض ضمن الآلة بقلب (reversing) وبواسطة نصف كل طور من الأطوار، وبذلك يتم توليد حقل بقطبية مختلفة. تتجلى إيجابية هذه المنظومة في الاستخدام الأفضل للمادة الفعالة في المحرك، والتي تظهر في تصغير حجم الإطار لمجموعة سرعة خاصة مقارنة مع تلك الممكن الحصول عليها باستخدام طريقة الملفين. كما تكون قيمة من الكفاءة وعامل الاستطاعة لهذه الطريقة أعلى بالمقارنة مع الآلة المكافئة ذات الملفين. يمكن إتمام التغير في السرعة باتجاه الزيادة أو النقصان على حد سواء دون فرض الانتقالات غير الضرورية على نظام التغذية. تعتبر نسب السرعة 3:1 أو النسب الأعلى غير عملية. يمكن تطبيق مبدأ (PAM) على آلات الحلقة المنزلقة وكذلك على الآلات ذات القفص.

المحركات التحريضية المتعاقبة Cascade induction motors: يمكن ترتيب المحركات التحريضية بشكل متعاقب بغية الوصول إلى سرعات متوسطة، حيث يمكن في هذه الطريقة تركيب محركين بربط العضو الدوار لأحدهما على التسلسل مع العضو الساكن للمحرك الآخر، الشكل (14.32) بحيث يتغذى عضو ساكن وحيد فقط من مصدر التغذية.

تعادل سرعة المحور المشترك إلى سرعة محور المحرك الذي يملك عدداً من الأقطاب مساوٍ لمجموع أقطاب كلا المحركين، ولهذا تكون سرعة الترتيب المتعاقب هذا ذات قيم منخفضة -عادةً هي ميزة لقيادة الآليات الثقيلة- من أجل تغيير في السرعة، يمكن إعادة الترتيب بحيث يمكن استخدام المحرك الرئيسي إما منفصلاً أو بشكل متعاقب. على سبيل المثال، تعطي المجموعة المكونة من محرك رباعي الأقطاب ومحرك سداسي الأقطاب إما 1500 أو 1000 دورة/دقيقة عندما يكونا منفصلين، أما عندما يشكلان مجموعة فإن السرعة ستكون:

$$\frac{50\times 60}{2+3}=600 \text{ rpm}$$

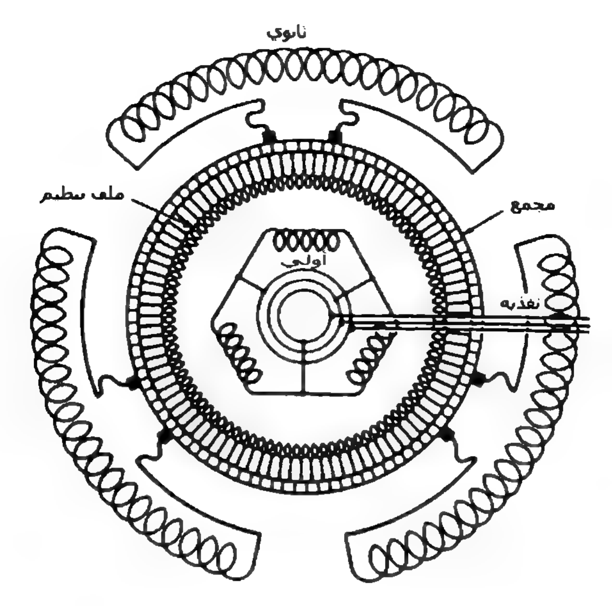


الشكل (14.32) توصيلات متسلسلة ثلاثية الطور

المحرك الثلاثي الطور بالمبدل (Scharge): يشكل المحرك بالمبدل (Commutator motors) المحرك الذي يتمتع بسرعة متغيرة بالكامل والملائم للاستخدام في الأنظمة ثلاثية الطور، أحد أنواعه ذاك المنسوب إلى Scharge المبين في الشكل (14.33)، حيث يتوضع الملف

الأولي على العضو الدوار ويغذى بواسطة الحلقات المنزلقة، ويقوم العضو الدوار أيضاً بحمل الملف الثانوي الذي يرتبط بدوره مع المبدل بالطرق المعهودة، ومن خلال المسفرات إلى ملف ثانوي آخر على العضو الساكن. يقتضي الأمر ثلاثة أزواج من المسفرات، يغذي كل زوج منها طور واحد لملف العضو الساكن كما هو مبين من المخطط. يتم التوصل لتغيير السرعة عبر تحريك كل زوج من المسفرات بالنسبة لبعضها البعض، ويتم ذلك إما بشكل يدوي أو آلي بواسطة مسنن دودي مناسب.

من أجل الحمل الطبيعي يتراوح مجال السرعة بشكل خشن من 3 إلى 1 أي 40% فوق وحتى 60% تحت سرعة التزامن. تتغير السرعة من 5 إلى 20% مع الحمل، ولكن ذلك يمكن بالطبع أن يقاوم عبر حركة إضافية للمسفرات.



الشكل (14.33) شكل تخطيطي يبين ملفات محرك Schrage ثلاثي الطور

تقلع المحركات عادةً عند وضع المسفرات بوضعية السرعة الدنيا، وتعطي عزم إقلاع حتى 1.5 مرة من عزم الحمل الكامل. تعتبر هذه المحركات مرتفعة الكلفة الأولية، غير أنها تحسنت كثيراً وبشكل لافت لقيادة الآلات التي تتطلب تحكماً بالسرعة كآلات الطباعة ومصانع النسيج، ...إلخ. يتم تعويض التكاليف البدائية المرتفعة لمحرك الحلقة المنزلقة بشكل سريع نتيجة إلغائها لضياعات المقاومة المنزلقة. تتوافر محركات بمجال سرعة 3:1 بمعدلات من 21.5 W حتى 187 kW، ويمكن بناء محركات أضخم حتى حوالي 300 kW لمجال سرعة صغير. إن مجالات السرعة الأكبر حتى 15:1 ممكنة غير أنها تشتمل على محرك مكلف أكثر كحجم الإطار لعزم معطى يتم التحكم فيه عن طريق مجال السرعة.

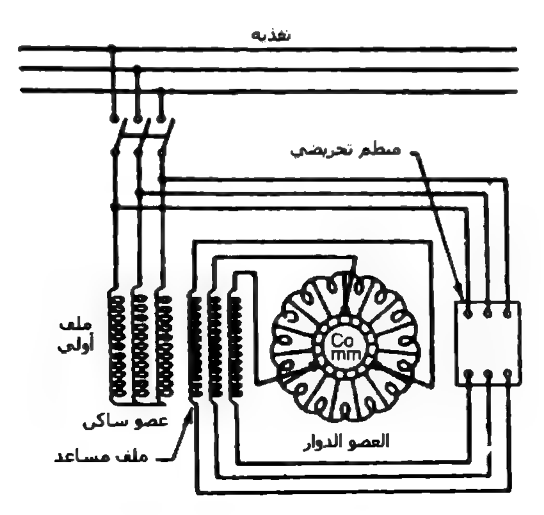
محرك بمبدل ذي تغذية للعضو الساكن وذي سرعة متغيرة

Variable-speed stator-fed commutator motor

يمكن مصادفة العديد من التطبيقات التي تحتاج لمحرك تيار متناوب ذي سرعة متغيرة من نوع المبدل ذي العضو الساكن المغذى الشكل (14.34). يدعى هذا المحرك بالمحرك التحريضي ذي الحلقة المنزلقة، مع وجود اختلاف في ارتباط ملف العضو الدوار مع المبدل عوضاً عن ارتباطه بالحلقات المنزلقة. تتم عملية تنظيم السرعة عبر منظم تحريضي مستقل يصل بين خط التغذية الرئيسي ومسفرات المبدل. غالباً ما يتم استخدم ملف مساعد على العضو الساكن يتصل على التسلسل مع مجموعة الفحمات وتوابعها والمنظم، والهدف هو زيادة عامل قدرة المحرك ومن خلاله مجال السرعة. يتصرف المنظم كمحولة ذات نسبة متغيرة تعطي جهداً متغيراً عند تردد التغذية للمسفرات.

عندما ينخفض الجهد الثانوي للمنظم، تزداد سرعة المحرك، وعند ازدياد الجهد في الاتجاه العكسي سترتفع سرعة المحرك إلى ما وراء سرعة التزامن. وفي غالبية الحالات، فإن كل ما يلزم لضبط السرعة هو مقود يدوي لعمل المنظم، وبسبب حاجة المنظم لكبل توصيل مع المحرك فقط، يصبح التحكم بالمحرك عن بعد بسيطاً جداً. يمكن أن تتغير سرعة محرك بمبدل وعضو ساكن مغذى بدون تدرج ضمن الحدود المفروضة على مجال السرعة. المجالات الاسمية لتنظيم السرعة هي: 1:15، 1:2،

1:3، 1:4 غير أن تصميم الآلات صالح من أجل المجالات 1:10 أو أعلى. عادةً ما يجري تصميم آلة لمجال السرعة 1:3 وبالتالي تتجاوز السرعة الأعظمية 35% من سرعة التزامن تقريباً والسرعة الدنيا تنخفض بمقدار 55% عن سرعة التزامن.



الشكل (14.34) التوصيلات الداخلية والخارجية للمحرك التحريضي ذي الحلقة المنزلقة متغير السرعة

تكون سرعة المحرك، كما في أي محرك تفرعي عند اللاحمل أكبر منها عند الحمل الكامل. فإذا أردنا تنظيماً دقيقاً جداً للسرعة، يمكننا الحصول عليه عبر التعويض الكهربائي في المحرك، أو عبر توفير تحكم آلي بالمنظم.

في أغلب أشكال القيادة، تقوم المحركات التي يتغذى فيها العضو الساكن، بتوليد عزم إقلاع كاف عند وصله مباشرة إلى الخط مع منظم تحريضي عند وضعية السرعة الدنيا. وفي المواضع الأخرى يؤدي الإقلاع مع منظم إلى زيادة كل من العزم والتيار. من أجل مجال سرعة 3:1 تتوفر محركات بمعدلات 3/4 kW حتى 375 kW تقريباً، ويكون حجمها أصغر قليلاً من حجم المحرك التحريضي ذي الحلقة المنزلقة المستخدم لذات التطبيق.

الجدول (14.5) خصائص محركات التيار المتناوب

النوعية	تغيرات السرعة عند الحمل	تحكم السرعة المحتمل	عزم الإقلاع	تيار الإقلاع	ملاحظات
قفصي تحريضي متعدد الأطوار	يتناقص حتى 5 إلى 6% من اللاحمل إلى الحمل الكامل	التغيير أو التحكم غير متاح	120-150 33-55 20-80 % حمل كامل	500-600 150-250 100-400 % حمل كامل	إقلاع مباشر إقلاع نجمي - مثلثي محولة ذاتية محرك ضباعي معياري السرعة ثابتة بالغرض للاستخدامات العامة
تحريضي متعدد الأطوار بعزم عالي	كالأعلى	لا	180-300 60-100 % حمل كامل	390-525 130-175 % حمل كامل	إقلاع مباشر نجمي - مثلثي عدة تغذيات محركات ذات تصميم خاص بعزم إقلاع عالي وتيار إقلاع معتدل
تحريضي متعدد الأطوار بدوار ذو لف حلقي منزلق	كالأعلى	يمكن أن يتغير عن طريق مقاومة الدوار ولكن يعتمد التغيير على الحمل حتى 30% تقريباً	100-150 % حمل كامل	150-250 % حمل كامل	من أجل الاستخدام العام حيث يجب أن يقلع المحرك عند حمل كبير ما دون ذلك الأداء مشابه للقفصي

الجدول (14.5) /تابع/

النوعية	تغيرات السرعة عند الحمل	تحكم السرعة المحتمل	عزم الإقلاع	تيار الإقلاع	ملاحظات
مجمع متعدد الأطوار (Schrage)	يتغير حتى 20% لموضع مشفرة واحدة	التغير 3 إلى 1 عن طريق تحريك المسفرات	150-200 % حمل كامل	150-200 % حمل كامل	محرك متغير السرعة متناوب من أجل متغيرات طفيفة في الحجوم
مجمع متعدد الأطوار (تغذية الساكن)	متغير حوالي 20%	التغير 3 إلى 1 بواسطة منظم تحريضي	175 % حمل كامل	125 % حمل كامل	مكلف في البدء، التحكم بالسرعة ممتاز خصائص الإقلاع عند وضعية السرعة الصغرى معدل المحرك من 375KW - 1 قد تصمم من أجل عمليات الجهد العالي
متزامن	ثابت (عامل الحمولة يمكن أن يتغير)	لا يوجد	لا يوجد	-	من أجل التشغيل المستمر الإقلاع المرامي التلفائي كالمحرك التحريضي يعطي عزم إقلاع كامل
أحادي الطور تحريضي مجزأ الطور	يهبط قليلاً كلما زاد الحمل حتى 6%	لا يوجد	200-220 % حمل كامل طاقه صغيرة فقط	650-750 % حمل كامل ·	يستخدم للاستطاعات الصغيرة فقط عند اعتبار تيار الإقلاع العالي. السرعة تفرض ثابتة

* باستثناء عندما يكون تردد التغذية المتاح متغيراً.

يجري بناء المحرك بسهولة بشكل مغلق بالكامل أو مع مكان لمروحة تبريد بسبب مجموعات الفحمات الثابتة وغياب الحلقات المنزلقة، وباعتبار المحرك ذي عضو دوار مغذى، من الممكن تصميمه لجهود التغذية الأعلى.

محركات Tandem: لعمليات الرفع والتحميل، قد يكون من المرغوب أحياناً أن تكون وحدات الطاقة قادرة على توفير سرعة سحب ثابتة، إضافة إلى سرعة البكرات المتحركة أو سرعة الخفض العادية. لتأمين هذه المتطلبات، تم تطوير محرك Tandem لاستخدامه عندما تكون التغذية الكهربائية بتيار متناوب.

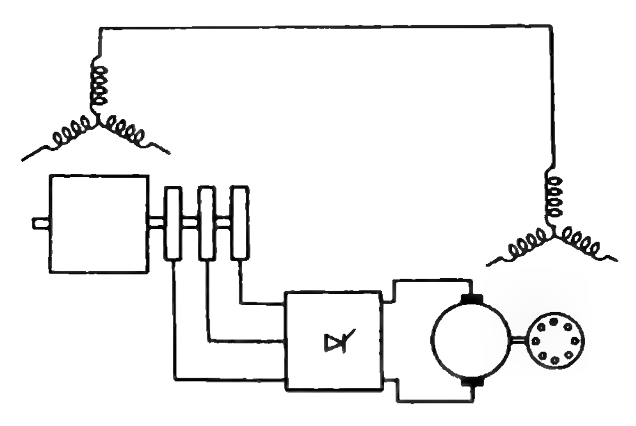
يتكون محرك Tandem من تركيب محركين كوحدة متكاملة، محرك السرعة البطيئة من النوع القفصي ويشكل الجزء الرئيسي الداعم للمجموعة، ومحرك بحلقة منزلقة يشكل وحدة السرعة العالية. عندما تكون طاقة التغذية المتاحة بتردد 50 Hz، فإن كلتا السرعتين المختارتين عادةً تكون 960 دورة/دقيقة للمحرك ذي الحلقة المنزلقة و150 دورة/دقيقة للمحرك القفصي، ويمكن توفير سرع أخرى إذا ما اقتضى الأمر ذلك، ويمكن أن يتم تفعيل تغير السرعة أثناء عمل المحرك وإجراء ذلك يتم عبر نقل التغذية من ملف عضو ساكن لآخر.

يمكن الانتقال من السرعة العالية إلى السرعة المنخفضة عن طريق عملية كبح استرجاعي كبيرة حيث يعادل العزم العكسي الكلي 400% من عزم الحمل الكامل. في الظروف العادية، تمتص العطالة الكبيرة للعضو الدوار إلى حد ما قسماً كبيراً من هذا العزم، وبذلك يتم اجتناب التباطؤ السريع والضغط الكبير على المسننات والآليات الأخرى لمجموعة القيادة.

يمكن تفعيل عملية ضبط إضافي للكبح عن طريق إدراج ملف خنق أو مقاومة مخمدة على التسلسل مع ملف العضو الساكن للمحرك القفصي ذي السرعة المنخفضة.

مخططات استعادة القدرة المنزلقة: يمكن تحسين فعالية وحدة القيادة عند السرعات المنخفضة إذا أمكننا إعادة الطاقة ثانية إلى وحدة التغذية بدلاً من تبديدها في المقاومات المرتبطة بالتحكم بالسرعة ضمن الآلات ذات السرعة المنزلقة.

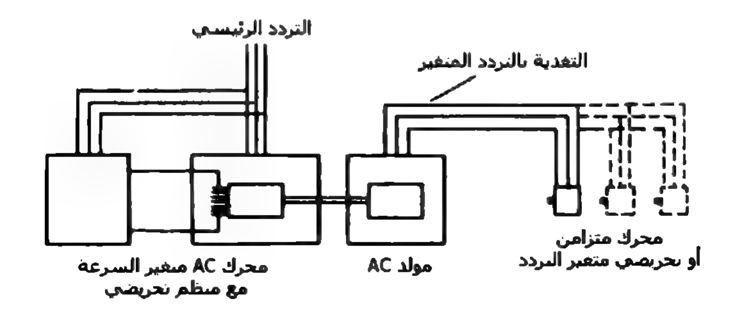
لا يمكن إجراء الوصل المباشر بين الحلقات المنزلقة والتغذية بسبب تغير كل من جهد الحلقة المنزلقة وترددها مع سرعة المحرك. في مخطط Kramer المعدل، يتم وصل جسر الثايرستور في دارة العضو الدوار، كما هو مبين في الشكل (14.35)، والذي يقوم بتحويل تردد طاقة الحلقة المنزلقة إلى التيار المستمر تتم تغذيته إلى محرك تيار مستمر مستقل مقاد عن طريق مولد متزامن يعيد الطاقة المنزلقة إلى التغذية. المنظومة الساكنة الكاملة متوفرة وفيها يستبدل مولد المحرك بمبدل ساكن. في المنظومات الأخرى يمكن تغذية خرج التيار المستمر لجسر الثايرستور إلى محرك تيار مستمر مقترن بالمحرك الرئيسي الحاوي على الحلقة المنزلقة، وبالتالي تؤمن عزوم هذه المجموعة لكلتا الآلتين طاقة خرج ثابتة للقيادة على كامل مجال السرعة.



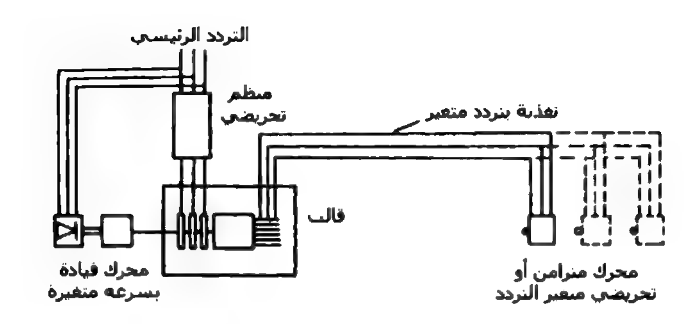
الشكل (14.35) نظام الاستعادة للقدرة بمنزلق Kramer المعدل

وحدات القيادة ذات التردد المتغير Variable frequency drives: يمكن تغيير سرعة المحرك التحريضي عن طريق تغيير تردد التغذية، وهذا ما يمكن تحقيقه عبر عدة طرق. قبل قدوم الثايرستور، كانت الطريقة الأكثر انتشاراً للحصول على التردد المتغير تتم عن طريق مجموعة مولد محرك كما هو مبين في الشكل (14.36)، وبما أن هذه الآلات كانت ذات كلفة عالية، فقد كان من المعتاد استخدام مجموعة واحدة

لتغذية عدد من المحركات كما ذكرنا. يتم استخدام ثلاثة مبدلات طاقة كهروميكانيكية عند تشغيل مجموعة المولد المحرك لذلك كان من المفيد استخدام أنظمة تقوم بتبديل التردد كهربائياً ضمن المبدل. يبقى تردد الخرج متغيراً من خلال تغيير سرعة المبدل غير أن ذلك يتم إنجازه عبر استخدام محرك قيادة صغير فقط. أما المبدل بحد ذاته فهو عبارة عن عضو ساكن غير ملفوف يدور ضمنه العضو الدوار ذو الملفات الموصولة مع كل من الحلقات المنزلقة والمبدل، الشكل (14.37).

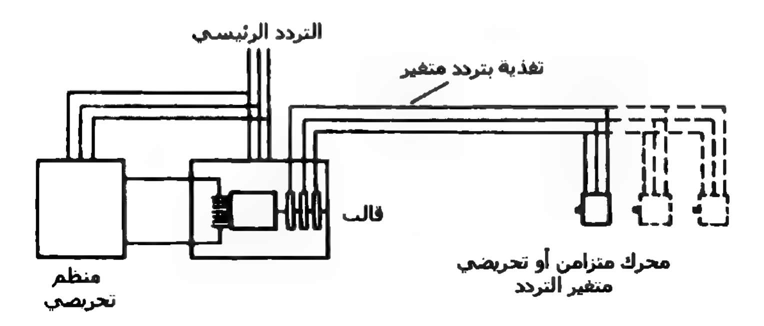


الشكل (14.36) مجموعة محرك توليد تغذي محركات بتردد مختلف



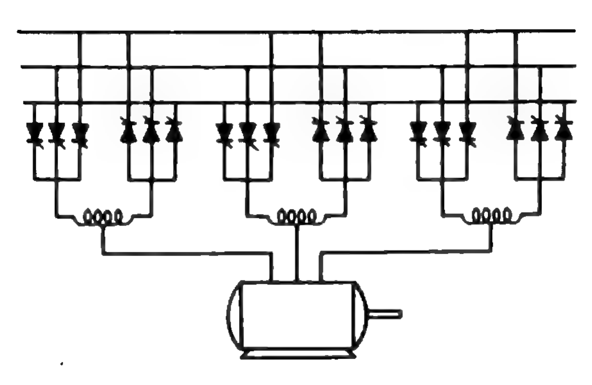
الشكل (14.37) قالب تردد بمحرك Parry يغذي محركات بتردد مختلف

هناك أيضاً المبدلات المقادة ذاتياً (selft-driven commutators) والتي هي أساساً عبارة عن محركات بمبدل ذي عضو ساكن مغذى تعطينا الخرج على شكل طاقة ذات تردد متزلق من خلال مجموعة من الحلقات المتزلقة والمتصلة مع ملفات العضو الدوار وذلك بدلاً من الخرج على شكل طاقة ميكانيكية. كما في الشكل (14.38). يتحكم المنظم التحريضي في جهاز كهذا بسرعة المبدل وتردده، يتغير جهد الخرج مع التردد للمحافظة على نسبة ثابتة بين الجهد والتردد.



الشكل (14.38) مبدل تردد مقاد ذاتياً يغذي محركات بتردد مختلف

إن وجود الثايرستور جعل من إمكانية تحول التردد الثابت إلى التردد المتغير عبر أدوات ساكنة تماماً أمراً قائماً. عندما ينخفض مجال تغير التردد عن التردد الرئيسي تظهر إمكانية استعمال منظومة محول الترددات. يمكن تركيب التردد المطلوب عن طريق سلسلة مناسبة متعاقبة من التبديلات لمرابط تغذية المحرك إلى أطوار التغذية المتعاقبة. نحتاج لمجموعتين من الثايرستورات يقومان، وعلى التوالي، بتغذية النصف الموجب والسالب لموجات تيار تغذية المحرك المتناوب. عملية التغذية الاسترجاعية للمحرك ممكنة عبر السماح بمرور الطاقة بشكل معاكس إلى التغذية من الطاقة الحركية لمجموعة القيادة ذات العطالة الكبيرة خلال التباطؤ السريع، يبين الشكل (14.39) توصيلات مجموعة إدارة محول الترددات.

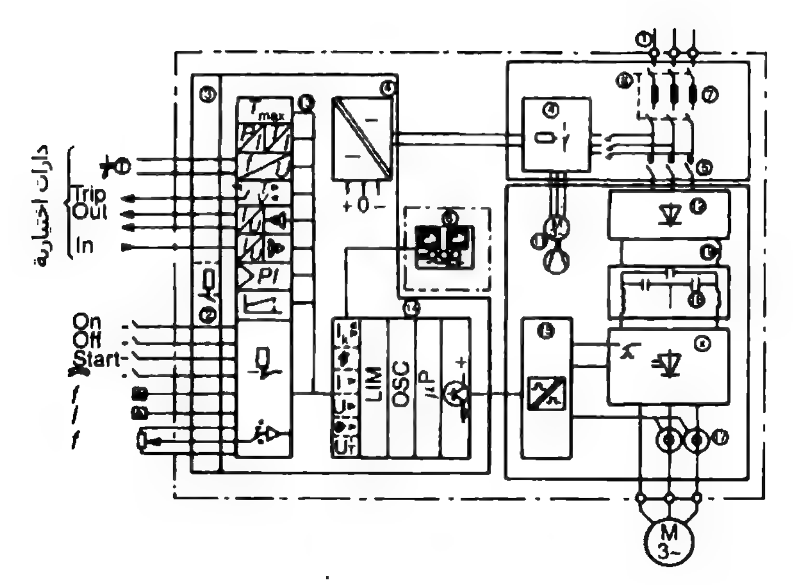


الشكل (14.39) ترتيبات من الثايرستورات لمحول الترددات لتغذية محرك بتردد متغير

قيادة محول التردد الساكن: بشكل جوهري، يعتبر المحرك التحريضي ذو القفص آلة ثابتة السرعة، حيث تتعلق السرعة بتردد التغذية وبعدد الأقطاب. أدى ظهور منظومات تحكم ساكنة بتردد متغير إلى قيادة الآلة ذات التردد القياسي 50 Hz عند أي سرعة متوافقة مع المجال 0.5-100 Hz، أي ضعف السرعة المقدرة. المنظومة SAMI المصنعة من قبل ABB تمثل إحدى تلك المنظومات والمستخدمة على نطاق واسع في الصناعة، مثل صناعة الفولاذ، الصناعات البتروكيميائية، صناعة الورق، صناعة الماء والتسخين والتهوية.

حيثما تبرز الحاجة لقيادة السرعة المتغيرة، يمكن استخدام مبدل التردد الساكن والمحرك القفصي. ومن ميزات هذه التركيبة توفير الطاقة نتيجة إمكانية بلوغ السرعة المثلى لخرج معطى.

بشكل أساسي، يتكون مبدل التردد SAMI من جسر تقويم بستة ديودات نبضية موصول مع شبكة التغذية المتناوبة والمبدل (P.W.M) مغذى بالتيار المستمر من المقوم لتأمين التردد المتغير للمحرك، الشكل (14.40). ويتضمن الوصل بالتيار المستمر بين المكونان الساكنان مرشح LC لتنعيم أي تيار مستمر متبقي من المقوم وكذلك ليقوم بدور مخزن للطاقة.



الشكل (14.40) محطط صندوقي لمبدل الترددات SAMI

أبعاد المحرك

يغطي الجزء 141 من المواصفة BS 4999 و المواصفة BS EN 50347 أبعاد وخرج المحركات الكهربائية المستخدمة في الأوساط الباردة التي لا تتجاوز درجة حرارتها 40°C. توفر المواصفة BS 4999 معلومات عامة تشمل مجموعة من الرموز للتعريف بأحجام الأطر، بالإضافة إلى معلومات عن الأبعاد القياسية والرموز بما فيها المعلومات الإلزامية أو غير الإلزامية. تحدد المواصفة القياسية BS EN50347 المخارج مقدرة بالكيلواط وكذلك أبعاد محاور المحركات والمتعلقة مع أبعاد الإطارات المعرفة في المواصفة BS 4999، يتعلق الخرج بالسرعة، ونوع غلاف المحرك ونمط مستوى الخرج وكذلك بشروط التغذية ونمط العضو الدائر. يحدد الجزء 141 من المواصفة BS 4999 أيضاً أبعاد السكة المنزلقة.

مجموعة مصطلحات منظومة الإطار: وهي مطروحة في الجزء 103 من المواصفة BS 4999 لأحجام الأطر حتى 400 ضمناً والمعدة مبدئياً للمحركات من النوع التحريضي منخفضة الجهد، حيث تكون المصطلحات على النحو التالي، أولاً: حرف يشير لنوع الغلاف: C مغلق مع تهوية، D مغلق كلياً غير مقاوم للهب، E لكافة الأنواع المغلقة المقاومة للهب. ثانياً: عدد مكون من خانتين أو ثلاث خانات يدل على ارتفاع مركز محور المحرك فوق القدم على الإطار المركب من الأسفل مقاساً بالميليمتر. ثالثاً: أحد الأحرف M، S أو L التي تميز الأبعاد الطولانية حيث يمكن استخدام أكثر من طول واحد. أخيراً، لجميع الأنواع غير المركبة من الأسفل، حرف يستخدم للدلالة على نوع التركيب: D للتركيب بواسطة الفلنجات، V للتركيب المتدلي، C للتركيب الأمامي بالفلنجة، P للتركيب على منصة، R للتركيب على قضيب. فعلى سبيل المثال يناسب المحرك (t.e.f.c) ذو حجم الإطار 160M، للتركيب بالفلنجة، وهو معين على أنه D160MD.

يحدد الجدول (14.6) الرموز أحادية الحرف للأبعاد، والجدول (14.7) الرموز ثنائية الحرف للأبعاد. وهي جميعها مبينة في الشكل (14.41). من غير الممكن إنتاج جميع الأبعاد المتعلقة بالأنواع المختلفة للمحركات التحريضية المغطاة بشكل قياسي، غير أن الجدول (14.8) يبين الأبعاد الثابتة للأطر المركبة على كرسي (جميع الأغلفة) للمحركات التحريضية المتناوبة ذات الجهد المنخفض. يتوضع صندوق العضو الساكن إلى الجانب الأيسر من المحرك، بالنظر إلى الطرف غير القائد، في مركزه أو حول الخط المركزي للمحور.

الجدول (14.6) رموز الأبعاد (BS 4999 الجزء 103)

الحرف	توصيف البعد
A	المسافة بين الخطوط المركزية للثقوب الثابتة (مشهد جانبي)
B	المسافة بين الخطوط المركزية للثقوب الثابتة (مشهد جانبي)
C	المسافة من الخط المركزي للثقوب الثابتة عند النهاية القائدة لكتف عمود الإدارة
D	قطر امتداد عمود الإدارة
E	طول امتداد عمود الإدارة من الكتف
F	عرض مجرى الخابور
G	المسافة من قعر الخابور إلى الجانب المقابل لعمود الإدارة
H	المسافة من الخط المركزي لعمود الإدارة إلى قعر القدم
H'	المسافة من الخط المركزي لعمود الإدارة إلى سطح التركيب. أي قعر القدم للآلة مع مراكز منخفضة لعمود الإدارة
J	نصف قطر الدائرة المتوضعة عليها منصة التركيب (أو أوجه القضبان) تكون مماسية
K	قطر الثقوب في القدم أو منصات التركيب (أو الأوجه)
L	الطول الكلي
M	خطوة قطر الدائرة للثقوب الثابتة
N	قطر السدادة
P	القطر الخارجي للفلنجة
R	المسافة من سطح الفلنجة المركبة إلى كتف عمود الإدارة
S	قطر الثقوب الثابتة في الفلنجة
T	عمق السدادة

الجدول (14.7) رموز الأبعاد (BS 4999 الجزء 103)

الرمز	توصيف البعد
AA	عرض نهاية المستند
AB	البعد الكلي من جانب لآخر
AC	القطر الكلي
AD	المسافة من خط المركز إلى الحدود الخارجية للعلبة الطرفية، أو أي عنصر بارز مركب على جانب الآلة
AL	الطول الكلي للقضيب المنزلق بعد استبعاد برغي الضبط (المعايرة)
AT	سماكة القضيب المنزلق الدنيا
AU	حجم ثقوب التركيب ضمن القضيب المنزلق
AX	ارتفاع القضيب المنزلق
AY(max)	الامتداد الأعظم لبرغي الضبط للقضيب المنزلق
AZ	عرض القضيب المنزلق عند القاعدة
BA	طول القدم (مسقط جانبي)
BB	البعد الإجمالي عبر المسند (مسقط جانبي)
BT(min)	الانتقال الأفقي على القضيب المنزلق
DH	تصميم الثقوب في امتداد العمود
DJ	المسافة المركزية لثقبين فرعيين في امتداد العمود
EB	المسافة من نهاية كرسي المدحرج إلى كتف العمود
EC	طول العمود من نهاية كرسي المدحرج إلى نهاية العمود
ED	الطول الأصغري لمجرى الخابور
HA	سماكة القدم
HB	المسافة من الخط المركزي إلى قمة أداة الرفع، أي صندوق طرفي أو أي عنصر بارز مركب على قمة الآلة
HC	المسافة من قمة الآلة إلى أسفل القدم
HD	المسافة من أسفل القدم إلى قمة أداة الرفع، أو أي صندوق طرفي أو أي عنصر بارز مركب على قمة الآلة
KA	العمق الفرعي القابل للاستخدام للثقب
KK	قطر الثقوب في الصندوق الطرفي لمدخل الكابل

الجدول (14.7) /تابع/

الرمز	توصيف البعد
LA	سماكة الفلانجة
LB	المسافة من الوجه الثابت للفلانجة إلى النهاية غير المقادة
LD	الخط المركزي للصندوق الطرفي إلى الوجه الثابت للفلانجة
LE	المسافة من النقطة الأخيرة للنهاية غير المقادة إلى الخط المركزي للثقب المثبت بالقرب من القدم
LF	المسافة من نهاية العمود إلى الوجه الثابت للفلانجة المركبة على الحافة
LG	الطول الكلي بما فيه البكرة
LH	المسافة من الخط المركزي للبكرة إلى الخط المركزي للثقب الثابت الأقرب إلى القاعدة
LK	المسافة من نهاية كرسي المدحرج إلى الخط المركزي للثقب الأقرب في القاعدة
LL	المسافة من الخط المركزي للصندوق الطرفي إلى الخط المركزي للثقوب الثابتة في القاعدة إلى امتداد العمود
XA(max)	الخط المركزي للصامولة التابعة لبرغي الضبط والقضيب المنزلق إلى بداية المنصة
XB	عرض القضيب المنزلق عند القمة
XC	قطر الصامولة التي من أجلها الخلوص يزود إلى شق القضيب المنزلق
XD	ارتفاع برغي الضبط
XE	المسافة بين الخط المركزي لتركيب الصواميل على الثقوب (مسقط جانبي)
XF	المسافة بين الخط المركزي لثقب الصامولة عند نهاية برغي الضبط والنهاية المضبوطة للقضيب المنزلق

الجدول (14.8) الأبعاد الثابتة للأطر المركبة

رقم الإطار	H		A	B	C	K	صامولة تثبيت أو برغي
	اسمي	تسامح سالب					
56	56	0.5	90	71	36	5.8	M5
63	63	0.5	100	80	40	7	M6
71	71	0.5	112	90	45	7	M6
80	80	0.5	125	100	50	10	M8
90 S	90	0.5	140	100	56	10	M8
90 L	90	0.5	140	125	56	10	M8
100 S	100	0.5	160	112	63	12	M10
100 L	100	0.5	160	140	63	12	M10
112 S	112	0.5	190	114	70	12	M10
112 M	112	0.5	190	140	70	12	M10
132 S	132	0.5	216	140	89	12	M10
132 M	132	0.5	216	178	89	12	M10
160 M	160	0.5	254	210	108	15	M12
160 L	160	0.5	254	254	108	15	M12
180 M	180	0.5	279	241	121	15	M12
180 L	180	0.5	279	279	121	15	M12
200 M	200	0.5	318	267	133	19	M16
200 L	200	0.5	318	305	133	19	M16
225 S	225	0.5	356	286	149	19	M16
225 M	225	0.5	356	311	149	19	M16
250 S	250	0.5	406	311	168	24	M20
250 M	250	0.5	406	349	168	24	M20
280 S	280	1.0	457	368	190	24	M20
280 M	280	1.0	457	419	190	24	M20
315 S	315	1.0	508	406	216	28	M24
315 M	315	1.0	508	457	216	28	M24
315 L	315	1.0	508	508	216	28	M24
355 S	355	1.0	610	500	254	28	M24
355 L	355	1.0	610	630	254	28	M24
400 S	400	1.0	686	560	280	35	M30
400 L	400	1.0	686	710	280	35	M30

يبين الجدول (14.9) عدد المخارج والمحاور للمحركات القفصية t.e.f.c وحيدة السرعة والمحركات MCR مع عزل من الصنف E أو الصنف B. وهي تلائم التغذية ثلاثية الطور بتردد 50 Hz على ألا يتجاوز الجهد 660 V. هناك جداول أخرى تنتمي للمواصفات القياسية توفر معلومات مشابهة للمحركات ذات الأغلفة المهواة أو ذات الحلقة المنزلقة، أو ذات الأغلفة المهواة والحلقات المنزلقة والجدران الواقية من اللهب t.e.f.c. وهناك جدول آخر يوفر معلومات مشابهة تتعلق بمحركات MCR ذات إطار سطحي ودوار بقفص.

الجدول (14.9) المحرك القفصي TEFC أحادي السرعة (BS EN 50347) المناسب للتغذية ثلاثية الطور بتردد 50 Hz وجهد لا يتجاوز 415 V.

رقم الإطار	الخرج، kW سرعة التزامن دورة/دقيقة				رقم العمود	
	3000	1500	1000	750	3000	1500 أو اقل
D80	1.1	0.75	0.55	-	19	19
D90 S	1.5	1.1	0.75	0.37	24	24
D90 L	2.2	1.5	1.1	0.55	24	24
D100 L	3.0	2.2 and 3.0	1.5	0.75 and 1.1	28	28
D112 M	4.0	4.0	2.2	1.5	28	28
D132 S	5.5 and 7.5	5.5	3.0	2.2	38	38
D132 M	-	7.5	4.0 and 5.5	3.0	38	38
D160 M	11 and 15	11	7.5	4.0 and 5.5	42	42
D160 M	18.5	15	11	7.5	42	42
D180 M	22	18.5	-	-	48	48
D180 L	-	22	15	11	48	48
D200 L	30 and 37	30	18.5 and 22	15	55	55
D22 S	-	37	-	18.5	55	60
D22 M	45	45	30	22	55	60
D250 S	55	55	37	30	60	70
D250 M	75	75	45	37	60	70

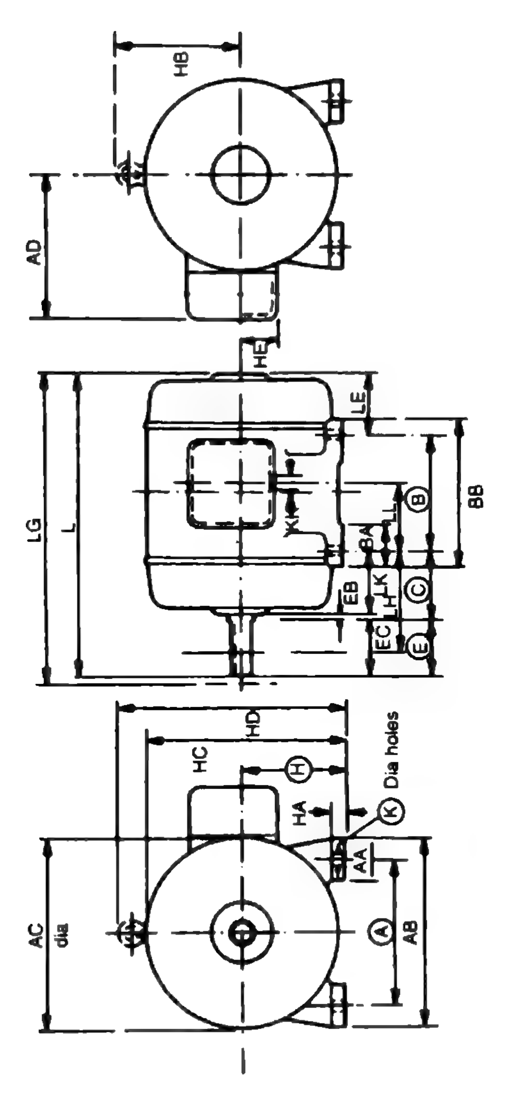
الجدول (14.9) /تابع/

رقم الإطار	الحرج، kW سرعة التزامن دورة/دقيقة				رقم العمود	
	3000	1500	1000	750	3000	1500 أو أقل
D280 S	90	90	55	45	65	80
D280 M	110	110	75	55	65	80
D315 S	132	132	90	75	65	85
D315 M	150	150	110	90	65	85

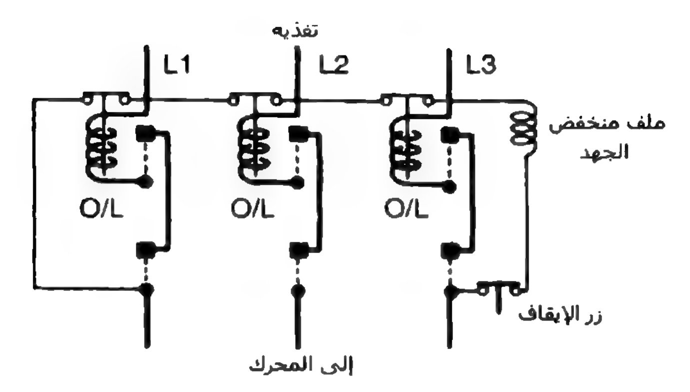
عناصر تحكم المحرك

لتحقيق الأمان، يجب على جميع مقلعات المحركات العودة التلقائية إلى وضعية الفصل في حال انقطاع التغذية، ولهذا السبب، يجب تركيب قاطع جهد منخفض أو قاطع انهيار الجهد 'no-volt'. يشكل قاطع الجهد المنخفض جزءاً أساسياً من أجزاء مفتاح الإقلاع لجميع المقلعات العاملة إلكترومغناطيسياً، ولكنه جزء إضافي في مفتاح الإقلاع للمقلعات اليدوية.

في مقلعات التيار المستمر من النوع faceplate، يتخذ قاطع انهيار الجهد شكل مغناطيس كهربائي يقوم باحتواء ذراع المقلع في وضعية 'full-on' عن طريق التجاذب المغناطيسي (انظر الشكل (14.4)). في مقلعات التيار المتناوب من النوع الأسطواني التي تمتلك مقبض إقلاع يدوي، يركب مفتاح الإقلاع مع نابض يؤدي إلى انحياز المفتاح إلى الوضعية 'off' غير أنه يحتفظ بالوضعية 'on' عن طريق ماسك ميكانيكي. يركب في المقلع مغناطيس كهربائي، يلف على التوازي، أو ملف لولبي يتم تهييجهما عن طريق جهد التغذية. في حال انقطاع التغذية، يتم تحرير المكبس أو العضو المتحرض للملف اللولبي أو المغناطيس الكهربائي، ويتم ترتيبه لإلغاء عملية المسك وبالتالي يعيد المفتاح إلى وضعية 'off'. يمكن وصل كبسة (push button) على التسلسل مع وشيعة انهيار الجهد وذلك لإيقاف المحرك (انظر الشكل (14.42)).

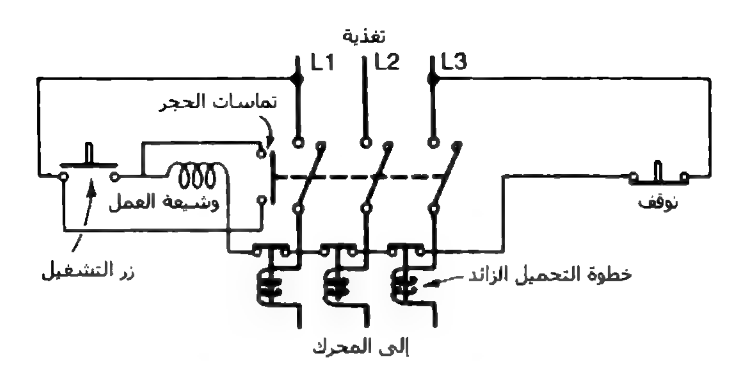


الشكل (14.41) رموز العناصر عند التركيب القاعدي



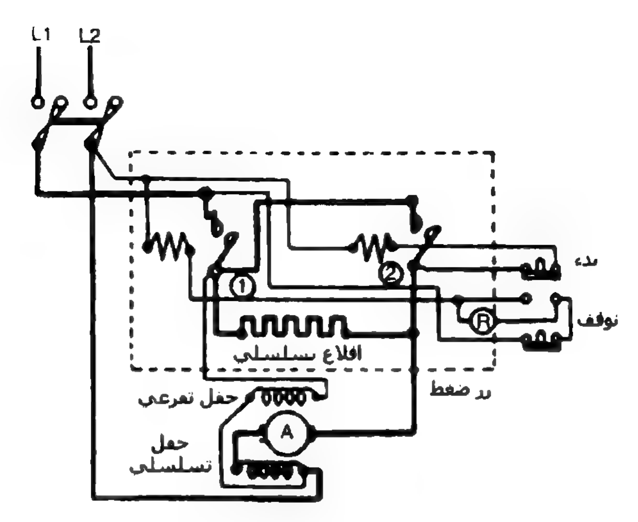
الشكل (14.42) مقلع a.c مباشر من النوع الأسطواني

عنصر تحكم القاطع التلقائي Contactor: تكون ميزة انهيار الجهد متأصلة في المقلعات ذات القاطع التلقائي كما هو مبين في الشكل (14.43). ينشط الضغط على زر الإقلاع وشيعة العمل التي تغلق القاطع التلقائي، ويتم تحرير زر 'Start' بغية المحافظة على إغلاق القاطع التلقائي حيث تحتاج لذلك إلى تماسات حاجزة.

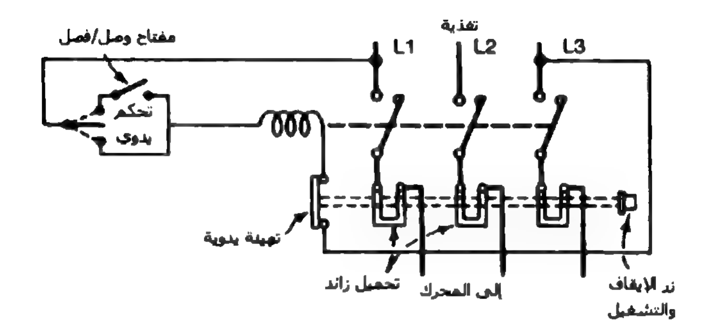


الشكل (14.43) مخطط المقلع ذي التحكم التلقائي للقاطع

يتم إغلاق هذه التماسات عن طريق الجزء المتحرك من القاطع التلقائي بحد ذاته وهذا ما يحافظ على دارة وشيعة العمل فور عملها وإغلاق تماسات القاطع التلقائي بصرف النظر عن وضعية كبسة التشغيل 'start'. عند ضغط كبسة الإيقاف 'stop' أو انقطاع التغذية عن وشيعة العمل يتم فتح القاطع التلقائي مباشرةً عبر تنشيط وشيعة العمل من نفس الدارة التي تغذي المحرك. تكافئ هذه الترتيبة قاطع الميار الجهد. هناك قاطع تلقائي مشابه للتحكم بمحرك التيار المستمر المبين في الشكل (14.44). عندما تتم عمليات التشغيل والإيقاف بشكل آلي بواسطة مفتاح عائم (float) أو مفتاح ضغط (pressure) أو مفتاح حراري (Thermostatic)، كما في حالة المضخات المقادة بالمحرك، والضواغط والمبردات وما شابه، يستخدم تحكم بسلكين كما هو مبين في الشكل (14.45). في هذه الحالات، من المفضل دمج أداة على شكل مجموعة يدوية مع قاطع التحميل الزائد لمنع الإغلاق الآلي للمقلع بعد الخطأ الناتج عن التحميل الزائد أو أي خلل آخر حتى ضغط زر إعادة التهيئة (reset) بعد زوال الخلل.



الشكل (14.44) مقلع d.c بقاطع تلقائي

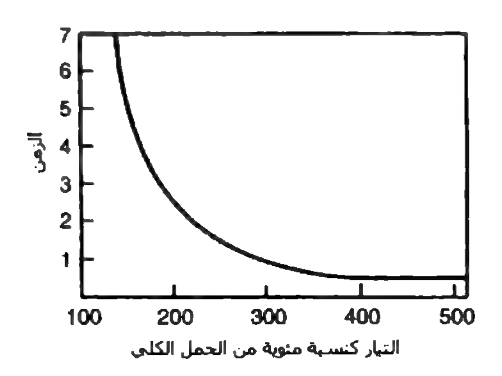


الشكل (14.45) مفتاح التحكم فصل/وصل

الحماية من التحميل الزائد: توجد وظيفة هامة لمجموعة التحكم بالمحرك تقوم على تجنب الضرر الناتج عن التيار الزائد، والذي قد ينتج عن التحميل الميكانيكي المفرط للمحرك أو عن خلل ما في المحرك بحد ذاته. في كلتا الحالتين، من الضروري فصل التغذية قبل حدوث أي ضرر للمحرك، لهذا تعمل أي أداة تحميل زائد على تحرير أداة إغلاق عن طريق فصل التغذية عن وشيعة انهيار الجهد، وفي المقلعات ذات القاطع الآلي عن طريق فتح دارة وشيعة العمل.

اعتبارات التأخير الزمني: من المهم اتخاذ تدابير احترازية ضد التشغيل غير الضروري للحمولات الزائدة المؤقتة بسبب التشغيل الاعتيادي للآلات المراد قيادتها. تتجسد الآثار الضارة للتحميل الزائد على المحرك في مسألة الوقت، حيث تستغرق الحمولة الزائدة الطفيفة زمناً معتبراً لتوليد الحرارة الكافية لإحداث أي ضرر، بينما يجب التخلص بأسرع ما يمكن من الحمولة الزائدة الكبيرة. لهذا السبب، تمتلك وسائط التحميل الزائد عادةً ميزة التأخير الزمني والمنحني المبين في الشكل (14.46) يمثل أحد منحنياته النموذجية. يجب أن تكون قيمة التحميل الزائد قابلة للضغط وكذلك الميزة الزمنية للمحركات الهامة. فمن أجل محركات التيار المستمر أو أحادية الطور تكفي أداة تحميل زائد واحدة عادةً، بينما للمحركات ثلاثية الطور فيتوجب حماية خطين اثنين كحد أدنى، ويعتبر العديد من المهندسين بأنه من المستحسن أن يمتلك كل طور أداة تحميل زائد خاصة به.

يعمل المحرك ثلاثي الطور في أغلب الأحيان كآلة أحادية الطور عندما يبدي أحد الخطوط بعض المشاكل، وفي الغالب يتم تجنب ذلك بحماية الخطوط الثلاثة عن طريق ريليه تحميل زائد تدمج أداة التعثر (tripping) أحادية الطور، فإذا حدث خلل ما للتيار في أي طور يتم تحرير الريليه.



الشكل (14.46) منحني يظهر تغير سرعة التشغيل مع الحمل بالنسبة للتأخير الزمني للتحميل الزائد

أدوات التحميل الزائد: وهي بشكل عام منقسمة إلى نوعين إلكترومغناطيسي وحراري. يتكون النوع الإلكترومغناطيسي من وشيعة أو ملف لولبي يحمل تيار الخط (أو متناسب معه) مع عضو متحرض بحيث يتم جذبه بشكل كاف عندما تعمل دارة التحرير أو المزلاج. يتم الحصول على ميزة التأخير الزمني عن طريق وعاء كبح أو ترتيب مشابه، فيما عدا ذلك سيكون الفعل لحظياً بشكل عملي. تم تطوير أدوات التحميل الزائد إلى حد كبير نتيجة كلفتها المنخفضة. فهي قد تكون على شكل أشرطة ثنائية المعدن أو عناصر أوعية اللحام، وفي كلتا الحالتين، وبما أن الفعل يكون نتيجة لارتفاع حرارتها، فإن عنصر الزمن يكون حاضراً دوماً.

يعتمد فعل تحرير التحميل الزائد لشريط ثنائي المعدن على الحركة الناتجة عن السرعة المختلفة لتمدد المعدنين المشكلين للشريط المجمع عند تسخينه، حيث يمكن تسخين الشريط ثنائي المعدن مباشرةً بواسطة التيار أو بشكل غير مباشر من خلال

وشيعة أو سلك مقاوم يحمل التيار في القاطع ذي شكل وعاء اللحام (solder pot)، ويكون المحور الحامل لترس السقاطة مضمن في خليطة منصهرة ذات نقطة انصهار منخفضة. تسخن هذه الخليطة وتنصهر بواسطة التيارات الزائدة وعند انصهارها تسمح لترس السقاطة بالدوران وتحرير المقلع. لم يتمتع هذا النوع من أدوات التحميل الزائد بالشعبية الكبيرة في المملكة المتحدة، غير أنه استخدم بنجاح في الولايات المتحدة لعدد من السنوات. أما المحررات اليدوية فتكون عادةً من نوع الإعداد اليدوي حيث يمكن الجمع بين ميزة الإعداد اليدوي والزر الانضغاطي 'stop'.

تقتصر الحمولات الحرارية الزائدة عادةً على وحدات التحكم الصغيرة حتى 22-15 kW لكن يمكن مع الميل باتجاه الصناعات الحديثة أن تمثل المحركات الصغيرة ذات السعة الكبيرة جداً من الآلات المركبة أو التي يجري تركيبها حالياً.

حماية المقاوم الحراري: المقاومات الحرارية عبارة عن أنصاف نواقل تبدي تحولات أو تغيرات مفيدة في المقاومة عند بروز تغير في درجات الحرارة. بمعنى آخر: هي عبارة عن أدوات حساسة للحرارة ترتكز على تيتانات الباريوم ومصاغة لإنتاج تزايد مهمل في المقاومة مع تغير الحرارة حتى الوصول لنقطة كوري Curie. حيث تسبب أي زيادة إضافية للحرارة بعد هذه النقطة لتغير سريع بالمقاومة، وهذا ما يمكن من استخدام هذه الخاصية للعمل كأداة للحماية.

يتم وضع المقاوم الحراري ضمن ملفات العضو الساكن للمحرك في تلك النقطة المعتبرة (بقعة ساخنة)، بمعنى آخر: نقطة الحرارة الأعلى لتيار حمل زائد معطى. يتم وضع عنصر التحكم المرتبط عادةً مع المقلع ويتخذ شكل مضخم وقد يتخذ شكل ريليه. تتوفر المقاومات الحرارية التي تعالج التيارات الكبيرة، ويمكن أن تعمل مباشرةً من خلال ريليه وسيطية صغيرة. تطالب المقاومات الحرارية بتقديم حماية أفضل من أي نقطة إفرادية أخرى لأنها تقيس الحرارة مباشرةً من ملفات المحرك. غير أن سلبيتها تنجم عن وجوب بقائها في الملف مما يقود إلى التسبب بإحداث نقطة ضعف في المنظومة المركبة ككل، وهذا أحد الأسباب الداعية لعدم تواجدها في تطبيقات المحركات عالية السرعة المحددة بشكل رئيسي لآلات 415 V.

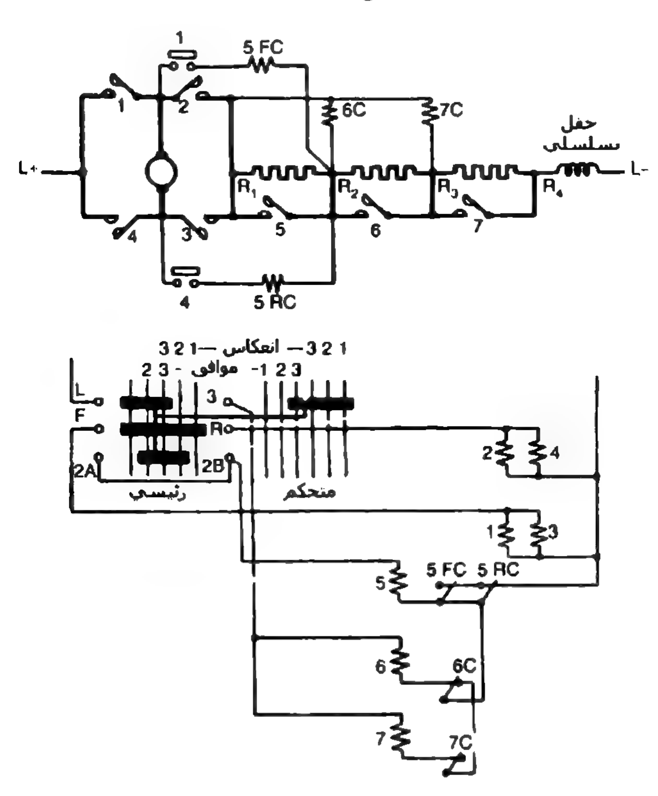
التحكم متعدد الأزرار Multi-pushbutton control: في حال عمل القواطع الكهربائية، يمكن التحكم بكل من التشغيل والتوقف من خلال أي عدد من النقاط عبر وصل أزرار إضافية إما على التسلسل أو على التفرع حسب الحاجة. وهذا ما يشكل ميزة معرفة عندما تكون ملائمة لعناصر تحكم مركبة بالقرب من مكان وقوف العامل أو المشغل. يمكن في الحالات الطارئة استخدام أي عدد من أزرار التوقف 'stop' لتوفير الوقت. يستخدم المبدأ ذاته للربط مع الروافع والآلات المشابهة حيث من الضروري أن تكون عناصر معينة في مكانها قبل أن يكون باستطاعة الآلة أن تقلع.

المقلعات متعددة المراحل Multi-stage starters: يمكن السماح بالإقلاع المباشر للمحركات حتى حجم معين، حيث يتم تثبيت الحدود بواسطة نظام التغذية. من أجل منظومة محرك قوية ذات جهد منخفض حتى 100 kW أو أكبر، يمكن أن تقلع ابتداء من 3.3 kW ويرتفع هذا المعدل إلى 300 kW وربما أكثر. يمكن أن تنتمي قيم حدود أنظمة 415 V العادية للمجال من 5 kW حتى 30 kW حيث ينصح المسؤولون عن التغذية بذلك. ويصبح من الضروري لأبعد من هذه الحدود استخدام طرق إقلاع تقوم بحصر تيار الإقلاع بضعفين أو ثلاثة أضعاف تيار الحمل الكامل. يتم تفعيل التحول من الحالة 'stop' إلى الحالة 'run' في المحركات القفصية التي تستخدم الإقلاع النجمي–المثلثي أو الإقلاع بالمحولة الذاتية، عن طريق مقلعات ذات قاطع آلي عبر استخدام قاطعين تلقائيين إما على التسلسل أو ريليه زمنية من أجل مواقتة عزم التحول.

المقلعات ذات الدوار الملفوف Wound-rotor starters: أثبتت المقلعات ذات المقاومة السائلة أنها مناسبة بشكل ممتاز عندما يتوجب إقلاع المحركات ذات الحلقة المنزلقة. من خلال تغيير المحلول الإلكتروليتي، تكون المقاومة المضافة تحت السيطرة، وتمتلك المقلعات السائلة ميزة انخفاض المقاومة بشكل مستمر وناعم عوضاً عن انخفاضها على شكل قفزات في الأنظمة الأخرى. في المحركات ذات العضو الدوار الملفوف، تستعمل المقلعات ذات التحكم اليدوي للأغراض العامة أكثر، ولكن يمكن استخدام القواطع التلقائية، قاطع تلقائي رئيسي واحد للعضو الساكن ومن مرحلتين إلى خمس مراحل لقطع مقاومة العضو الدوار. يمكن ضبط التحول من مرحلة لأخرى إما عن طريق التيار أو عن طريق الزمن. من أجل طريقة التحكم

بالتيار، يتم استخدام التيار أو سلسلة من الريليات للعمل على التحويل من قاطع تلقائي لآخر عند هبوط التيار إلى قيمة معينة بفضل تسارع المحرك. تكفل هذه الطريقة الإقلاع الصحيح أكثر ولكنها تحتاج لضبط دقيق إلى حد ما.

يتم التحكم بالتأخير الزمني عن طريق مؤخر زمني مخمّد أو أداة مماثلة، وفور عمل أول قاطع تلقائي، تدخل الريليه في الدارة، وبعد انقضاء الزمن المحدد يتم تنفيذ التحويل، وهكذا تتكرر العملية بعدد المراحل اللاحقة. يبين الشكل (14.47) مخطط التحكم بعكس محرك تيار مستمر ثقيل.



الشكل (14.47) أداة قاطع d.c نموذجي من أجل قلب أو عكس حركة المحرك ذي المهام الكبيرة

حدود القاطع الهوائي Air-break limits: تكون مجموعة المقلعات ومفاتيح القيادة ذات القطع الهوائي والمشغلة يدوياً مقنعة حتى حجم معين. فمن أجل محرك تيار مستمر، يستخدم عنصر التحكم ذي القاطع الهوائي حتى في حالة المخارج عالية الاستطاعة لكن من الضروري تغيير التماسات.

للتحكم بمحركات التيار المتناوب العاملة يدوياً، تكون القواطع الهوائية أكثر إقناعاً من عناصر القطع التلقائي حتى 1.5 kW، ولكن عندما يكبر الخرج أكثر، يصبح من الأنجع بشكل عام استخدام القواطع الفراغية، قواطع SF6، ومفاتيح قطع الدارة.

المنصهرات Fuses: تصمم أدوات التحميل الزائد في المقلعات لمقاطعة الدارة في حال ارتفاع التيار إلى ما وراء قيمة محددة مسبقاً بسبب التحميل الميكانيكي المفرط للمحرك، وهي غير مصممة عادةً لإزالة القصر في الدارات. من المفضل في الكثير من الأحيان احتواء المحركات على قاطع للدارة أو منصهرات بقدرة قطع كافية للتعامل مع أي دارة قصر محتملة الحدوث. يمكن الحصول على القيم المطلوبة لقدرة القطع العليا للمنصهرات من أجل دارات المحركات من قوائم مصنعي المنصهرات.

الإيقاف السريع للمحركات: إن تطبيق الكبح الكهربائي، أي الكبح عن طريق جعل المحرك يقوم بتوليد عزم إعاقة، لأصناف معينة من القيادة الكهربائية كتشكيل المعادن، الروافع الكهربائية، يعتبر من التطبيقات الاعتيادية، وقد بدأ يستخدم في العديد من أنظمة القيادة الصناعية الأخرى حيث يتواجد حقلين من التطبيقات:

1. مجموعة القيادة حيث تختزن كمية كبيرة من القدرة في الأجزاء الدوارة للآلة المقادة.
2. مجموعة قيادة تتطلب سرعة وضبط التباطؤ في حال وقوع حادث أو في الحالات الطارئة.

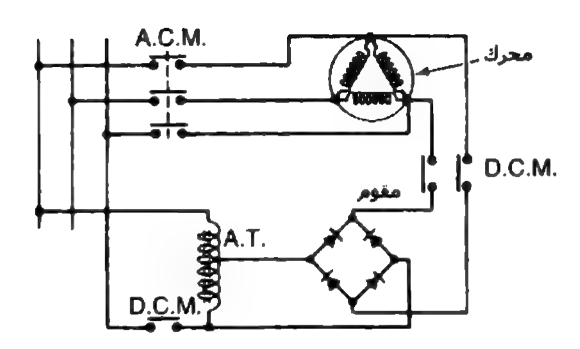
هناك طريقتان يمكن من خلالهما أن يكون المحرك التحريضي متعدد الأطوار ملائماً لتوليد العزم الكابح والإيقاف السريع:

1. عن طريق جعله يتوقف عن العمل كمحرك وتشغيله كمولد
2. عن طريق عكسه، وبالتالي يقوم فعلاً بالعمل بشكل عكسي حتى عودة الحمل إلى وضع الراحة.

تسمى الطريقة الأولى بطريقة حقن التيار المستمر (d.c. injection) أما الطريقة الثانية فهي تسمى طريقة (plugging).

الكبح عبر حقن التيار المستمر: في هذا النظام، عندما نريد كبح المحرك، نقوم بفصله عن التغذية المتناوبة وتغذية ملفات العضو الساكن بتيار مباشر. ويتجلى تأثير ذلك ببناء حقل مغناطيسي ساكن في حيز دوران العضو الدوار، ويقوم التيار المتولد في ملف العضو الدوار بإنتاج عزم كبح قوي تماماً بنفس الطريقة المتبعة في محرك تيار مستمر ذي لف تفرعي. في الورش حيث تكون التغذية بالتيار المستمر متاحة، يصبح الكبح أسهل عملياً، وتبرز الحاجة للمزيد من الأجهزة الإضافية. أما في كافة الحالات الأخرى، يتم التزود بالتيار المستمر الضروري عن طريق مقوم يركب في جوار علبة التحكم. وتنتفي الحاجة هنا لأي نوع من التوصيلات الميكانيكية، حيث تكون كامل مجموعة الكبح محتواة في مقصورة التحكم.

عند الضغط على زر الإيقاف، ينفتح قاطع التيار المتناوب، الشكل (14.48)، مسبباً إغلاق قاطع التيار المستمر، وتوصيل العضو الساكن للمحرك مع المقوم، ويذهب المحرك إلى وضعية الراحة بسرعة بواسطة ريليه زمنية ومهيأة لإعطاء فترات متغيرة لتطبيق التيار المستمر متناسبة مع الحمل على المحرك، يتم بعدئذ تحرير قاطع التيار المستمر.



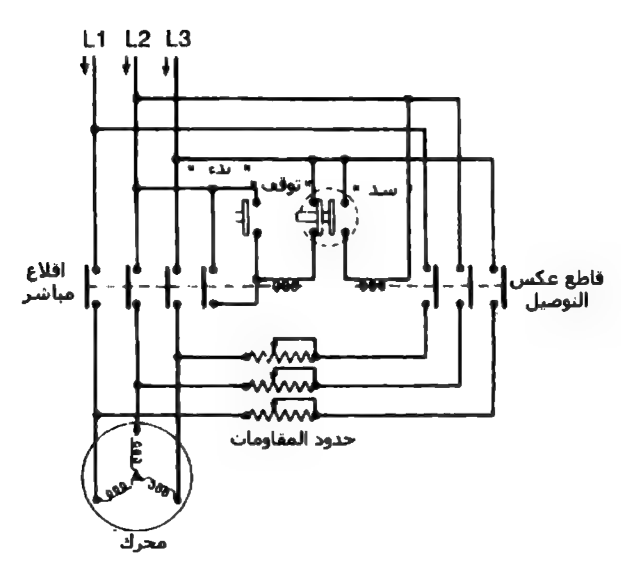
الشكل (14.48) حقن التيار المستمر

هذه الطريقة قابلة للتطبيق على المحركات القفصية والمحركات ذات الحلقة المنزلقة على حد سواء، لكن يتم تطبيقها عادة على المحركات ذات القفص. فلدى تطبيقها على المحركات ذات الحلقة المنزلقة، يتم اختيار فرع من دارة العضو الدوار الموجودة ضمن مقاومة العضو الدوار لإعطاء أفضل النتائج. يمكن ترتيب التيار المستمر لعملية الحقن على ملف العضو الدوار أو الساكن أو على كليهما معاً.

الكبح عبر عكس التوصيل: يمكن إنجاز الكبح السريع لمحركات التيار المتناوب (أو التيار المستمر) عن طريق إعادة توصيل الملفات إلى التغذية بترتيب مطابق لاتجاه الدوران العكسي. يتم هذا التحول بسرعة عادة، كما هو الحال بالنسبة لعمل القواطع الآلية، وهي الطريقة المستخدمة على نطاق واسع مع أنظمة التحكم الآلي حيث يكون من المطلوب التوقف السريع عملياً. عندما يكتمل التباطؤ ويتوقف المحرك، فإنه بالطبع سينعكس ما لم تكن الملفات مفصولة. بشكل عام، لا تكون التعديلات الضرورية للإقلاع العادي المطلوب للمحرك التحريضي كبيرة بغية جعله مناسباً لهذه الطريقة في الكبح.

عكس التوصيل بشكل مباشر على العضو الساكن: كل ما هو مطلوب، استبدال العضو الساكن الاعتيادي بمفتاح تحويل عاكس، والذي قد يعمل بشكل يدوي أو آلي، كما هو مطلوب من حاجات مجموعة القيادة. يبين الشكل (14.49) مقلع بكبسة مباشرة مكيف لإجراء عملية عكس التوصيل، والتغيير الوحيد هو إضافة المفتاح العاكس، استخدام كبسة إيقاف خاصة، وعادة يتم تركيب مقاومة محدودة التغير في كل طور تتغذى من دارة عكس التوصيل. تسمح المقاومات بعامل زمني متغير وتتحكم بقيمة عزم الكبح والتيار وبالتالي لتجنب الضرر لأي جزء من المحرك أو الآلة المقادة.

عكس التوصيل عن طريق مقلع بمحولة ذاتية أو مقلع نجمي-مثلثي: في الواقع يكون الوضع أكثر صعوبة بسبب وجوب تأمين أدوات تؤمن التأكد من وصل المحرك بوضعية الإقلاع للمقلع قبل بدء عكس التوصيل.

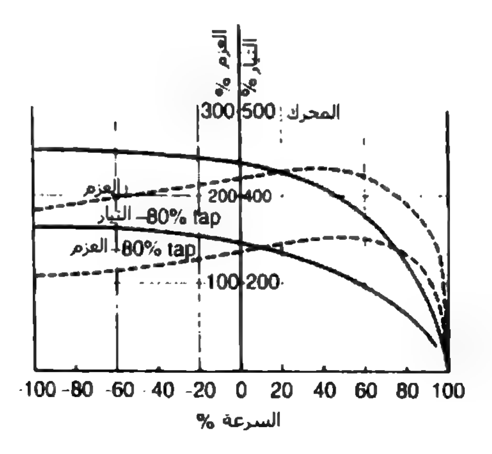


الشكل (14.49) دارة القاطع التلقائي المباشرة من أجل عكس التوصي

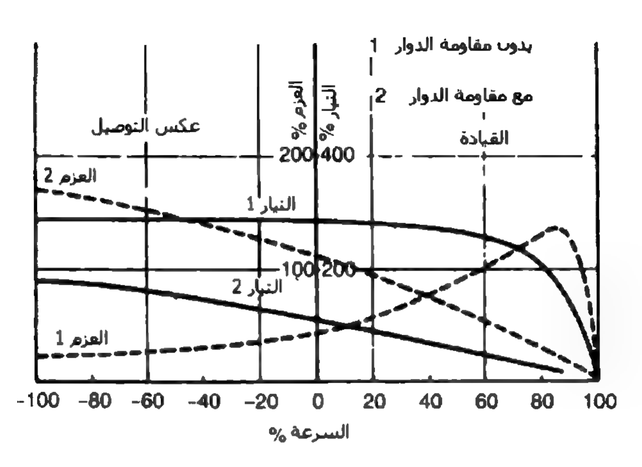
ويمكن أن يتم ذلك عبر دمج المقلع والمفتاح العاكس، أو عبر تأمين مفتاح تحويل من أجل عملية الانعكاس، وهذا أيضاً يخفف من جهد المحرك. يبين الشكل (14.50) منحني المحرك القفصي بوجود مقاومة عالية أو عضو دوار قفصي مزدوج عند عكس التوصيل عند الجهد الأقصى، والجهد الأدنى، وهذا ما يمكن الحصول عليه عن طريق المحولة الذاتية أيضاً.

عكس توصيل المحركات ذات الحلقة المنزلقة: يجب أن يكون مفتاح العضو الساكن عبارة عن مفتاح تحويل عاكس، وتظهر ضرورة لبعض أشكال الدمج لضمان أن تكون كل مقاومة العضو الدوار في الدارة قبل إجراء عكس توصيل المحرك. في حالات معينة، قد يتطلب الأمر خطوة إضافية ضرورية لعكس التوصيل، بالرغم من أن المقلع سيكون مبسطاً إذا كانت مقاومة الإقلاع في المرحلة الأولى كبيرة بشكل كاف لتحدد تيار الكبح إلى القيمة المرغوبة. يجب تذكر أن التيار المار عند عكس التوصيل سيكون على الأغلب ضعف التيار المار عبر نفس المقاومة في مرحلة

الثبات. يبين الشكل (14.51) منحني محرك ذي حلقة متزلقة مع أو دون مقاومة العضو الدوار.



الشكل (14.50) منحنيات العزم/السرعة والتيار/السرعة للمحرك القفصي المزدوج عند الجهد الأعظم والمخفض عند التشغيل وعكس التوصي



الشكل (14.51) منحنيات العزم/السرعة والتيار/السرعة من أجل المحرك ذي الحلقة المنزلقة مع أو بدون مقاومة العضو الدوار أثناء القيادة وعكس التوصيل

من الواضح بأنه إذا ما استخدمت قفزة كبيرة للمقاومة، فإن المنحني الناتج سيختلف بعض الشيء عن المنحني الطبيعي للآلة، وسوف يميل كل من التيار والعزم للازدياد إلى ما وراء قيم الثبات. من المفيد عادةً تحديد قيمة مقاومة التوصيل النجمي اللازمة لتحديد التيار الكابح لأي قيمة مطلوبة من العلاقة:

$$R = 1.8 \times E / 1.37 \times I$$

حيث: E جهد العضو الدوار في الدارة المفتحة عند الثبات، I التيار الكابح المسموح به.

مفتاح عكس التوصيل: تكمن سلبيات عملية عكس التوصيل في أن المحرك قد يتابع ويقلع ليتسارع في الاتجاه المعاكس. في مجموعات القيادة، حيث يعتبر ذلك غير مرغوب فيه، ومع ذلك، يمكن اجتنابه عن طريق تضمين مفتاح عكس التوصيل مع محور المحرك. وهو عبارة عن مفتاح بسيط من النوع النابذي (centrifugal) يفتح عند وصول المحرك إلى السرعة الصفرية، ويحرر مفتاح العضو الساكن الرئيسي للمحرك وذلك بمقاطعة دارة وشيعة انهيار الجهد أو المسك.

هناك طريقة أخرى لضبط زمن عكس القاطع التلقائي الذي يبقى مغلقاً عند عكس التوصيل تتم بواسطة ريليه زمنية تعد لإخراج القاطع العاكس تماماً قبل وصول المحرك إلى السرعة الصفرية.

مع كل من طريقتي حقن التيار المستمر وعكس التوصيل، لا يتم مسك الحمل عندما تستقر المعدات في وضعية الراحة. إذا كان ذلك ضرورياً فإنه يجب استخدام الكبح والتوقف بواسطة كابح إلكتروميكانيكي.



مجموعة المفاتيح الكهربائية والحماية

مجموعة المفاتيح الكهربائية Switchgear

يعتمد اختيار مجموعة المفاتيح الكهربائية الملائمة إلى حد كبير على الوظيفة الفعلية المطلوبة من أي نوع للمنشأة الكهربائية. بالإضافة لقيامها بفصل أو وصل أي جزء من المنشأة الكهربائية، تشمل مجموعة المفاتيح الكهربائية عادةً على أدوات الحماية الضرورية اللازمة لعزل أي جزء خاص بشكل آلي عند ظهور خلل ما.

يشمل المصطلح "مجموعة المفاتيح الكهربائية" أي جهاز تم تصميمه للتحكم، أي المقاطعة، بدارة كهربائية حيث يمكن لهذا الجهاز أن يضم مفاتيح، قواطع كهربائية وعوازل. تنتمي المنصهرات (fuses) لهذه المجموعة ولكنها تستخدم عموماً بالترافق مع أجهزة كهربائية أخرى، تكون عادة مفاتيح أو قواطع كهربائية. فيما يلي التعاريف الشاملة لهذه الأجهزة:

المفتاح Switch: وهو الأداة المصممة لمقاطعة مرور التيار العادي للدارة التي تستخدمه، وقد يكون من الضروري وصله عند وقوع الخطأ وليس فصله.

القاطع الكهربائي Circuit breaker: وهو مصمم لمقاطعة تيار الخلل، وبالتالي إزالة الخلل من المنظومة. هناك حالات قد تزود فيها القواطع بالمنصهرات عند استخدامها في دارات ذات مستويات خلل عالية أعلى من قدرة هذه القواطع عن المقاطعة.

العازل Isolator: وهو مصمم لعزل الدارة كهربائياً عن مصدر تغذيتها بالطاقة. لا يستخدم عادةً لمهام الوصل/الفصل بالرغم من أنه في بعض الأحيان قد يصمم للوصل في حالة حدوث الخلل.

المنصهرة Fuse: وهي أداة فصل/وصل مصممة لفصل الدارة بهدف إزالة الخلل.

تكونت جميع المفاتيح الكهربائية أصلاً من مفاتيح سكّينية (knife) مفتوحة مركبة على لوح أو لوحة تركيب وتعمل يدوياً. أما أدوات الحماية فتتكون من منصهرة يتم تركيبها عادة بالقرب من المفتاح. إن استخدام الجهد المتناوب المرتفع والتزايد الكبير في الطاقة الكلية في منظومة ما قد استوجب استخدام مفاتيح التغذية الكهربائية ذات القاطع الزيتي (oil-break) أو القاطع الهوائي (air-break) أو القاطع التخلخلي (vacuum) أو قاطع SF6 أو قاطع الدفع الهوائي.

ما تزال المفاتيح السكّينية مستخدمة من أجل الجهود المنخفضة (حتى 1000 V) وقد تصادف من حين لآخر دارات من النوع المفتوح، لكن بشكل عام، معظم المفاتيح الكهربائية الحالية هي من النوع المغلق. تستخدم المفاتيح المغلقة معدنياً (metal-clad) أو وحدات المفاتيح والمنصهرات المشتركة المنفردة أو المجمعة وذلك لتشكيل لوحة المفاتيح الكهربائية. من أجل معدلات التيار المنخفض يمكن الحصول على علب المفاتيح معزولة بدلاً من الأنواع المعدنية وقد أصبحت هذه الأنواع شائعة الاستخدام وبشكل خاص في التمديدات المنزلية.

يتم التحكم بالمفاتيح السكّينية عادةً عن طريق النوابض، حيث تؤمن عملية وصل وفصل سريع عن طريق تأثير مقبض حر يجعل تشغيل المفتاح مستقلاً عن السرعة التي يتحرك فيها المقبض. في جميع الحالات، من المستحيل فتح غطاء المفتاح وهو في وضعية الوصل. الحدود العادية للتيارات التي تتحملها هذه المفاتيح تمتد من 300 إلى 400 أمبير لكن يمكن تصميم وحدات خاصة لتحمل قيم أعلى.

تستخدم القواطع المصغرة أو القواطع المشكلة بالقوالب بشكل واسع كأجهزة حماية في مباني المستهلكين، وكذلك لمجموعات وصل/فصل وحماية أنوار الفلوريسانت في الأبنية التجارية والصناعية.

أصبحت القواطع الكهربائية المصبوبة (Moulded-case) ذات المعدلات حتى 3000 A والقادرة على مقاطعة التيارات حتى 200 kA (للمعدلات الأكبر) شائعة الاستخدام للتحكم في شبكات الجهد المنخفض.

عند الحاجة لقواطع ذات معدل سعة ما، جنباً إلى جنب مع إمكانية التشغيل الآلي، يكون من الضروري استخدام أدوات تحكم خاصة لمقاطعة تيار الخلل. عادة ما يتم التحكم بالأنظمة منخفضة الجهد ثلاثية الطور حتى 415 V بواسطة القواطع الكهربائية الهوائية مع أو بدون سلسلة من المنصهرات. من أجل الأنظمة عالية الجهد حتى 36 kV تتوفر قواطع التخلخل، قواطع SF6، والقواطع الهوائية والزيتية. تهيمن قواطع SF6 من أجل الجهود الأعلى وتستخدم حتى 420 KV وما فوق. من أجل أنظمة الجهد المنخفض تكون القواطع الهوائية عبارة عن وحدات مصبوبة. يملك القاطع الكهربائي ذو القطع الهوائي ضمن المجال 3.3 – 11 kV أداة تحكم بالقوس مناسبة لعملية وصل/فصل المحركات وتستخدم بشكل رئيسي في محطات الطاقة المبنية في الستينيات والسبعينيات. كلفتها العالية تجعل من استعمالها العام في الصناعة وأنظمة التوزيع أمراً غير عادي. هذه القواطع مهدت لاستخدام قواطع التخلخل (Vacuum) وقواطع SF6 لكنها تتمتع بميزة كبيرة وتكمن في إزالة الزيت.

ما تزال القواطع الزيتية شائعة في نظم التوزيع ذات الجهد العالي بالرغم من خطر الحريق المحسوس، وهي تتكون من غلاف زيتي يتم استخدامه لاحتواء التماسات وأداة التحكم بالقوس. يتم قدح القوس من خلال أداة التحكم حيث يمسح ضغط الغاز الناتج عن عملية القدح، القوس من خلال فوهات التبريد في جانب الوعاء. تتمتع هذه الأدوات بالوثوقية العالية وببساطة عملية الصيانة، بالرغم من أنها قليلة نسبياً. يظهر الشكل (15.1) قاطع كهربائي زيتي نموذجي مع حجرته من أجل 12 kV. تتوفر القواطع التخلخلية وقواطع SF6 وفق طرق تركيب مشابهة. كانت القواطع التخلخلية أول أنواع القواطع الخالية من الزيت (oil-less) التي توفرت وتم استخدامها في المواقع الصناعية منذ أواخر الستينات. تم تعليب القواطع التخلخلية ضمن أوعية خزفية تضم تماسات قابلة للحركة ضمن الفراغ عالي التخلخل. إن

أداء الدارة القاطعة وفق هذا التصميم عال جداً، حيث يمكنها تحمل عدد كبير من حالات القصر قبل بروز الحاجة لاستبدالها.



الشكل (15.1) مجموعة مفاتيح كهربائية بقواطع زيتية 11KV

في الواقع، في أغلب الحالات، لن نكون بحاجة لاستبدالها على الإطلاق. قد نحتاج لإجراء بعض عمليات الصيانة على كل حال من أجل فحص حركة التشغيل الصغيرة للتماسات وفي حال الضرورة، يمكننا إعادة تهيئة هذه التماسات. جاءت قواطع SF6 بعدد من الأشكال، استفادت جميعها من خواص العزل الكهربائي الجيد وتخميد القوس التي يتمتع بها هذا الغاز وذلك لتأمين نوع آخر من القواطع الكهربائية الخالية من الزيت.

لما كانت فترة حياة التماسات ليست طويلة، كما هي بالنسبة للتخلخل، تقدم قواطع SF6 إيجابيات أخرى تجعلها مكافئة ومقبولة في الاستخدام الصناعي وفي أنظمة التوزيع. تتوفر تصاميم أخرى لوحدات القواطع الخالية من الزيت كما هو مبين في الشكل (15.2) الذي يوضح وحدة تحكم بصف مضاعف من القواطع التخلخلية التي توفر تشكيلة صغيرة الحجم (compact) من أجل التركيب السريع في موقع العمل. تم تصميم جميع هذه الوحدات الجديدة للتخفيف من عمليات الصيانة اللازمة لوحدة المقاطعة بالرغم من أنه ينصح بإجراء الفحوصات المنتظمة للتأكد من سلامة العمل الميكانيكي ونظافة العزل المكشوف.

جميع أنظمة القواطع الكهربائية عالية الجهد حتى 36 kV هي وحدات ثلاثية الطور، ولكن من أجل الجهود الأكبر، يتم استخدام قواطع أحادية الطور مقترنة مع بعضها البعض عادةً لتسهيل تصميم منظومة العزل للجهد بين طورين.

يذهب جزء كبير من كلفة حجرة القاطع الكهربائي لمنظومات الحماية والجهازية المرتبطة مع الحماية الخاصة للدارة وتشابكها مع الدارة المجاورة.

يمكن الحصول على الحماية من التحميل الزائد بواسطة أداة تحرر آلية لفتح القاطع. من أجل معدلات التيار الأقل، وقواطع الجهود الأقل، يمكن تطبيق الحماية عن طريق وشائع تحميل زائد أو أدوات تحرير حرارية ضمن الوحدة بحد ذاتها.

للوحدات الكبيرة التي يتم حمايتها عبر منظومة ريليات معقدة، فإن عمل واحدة من الريليات لمنظومة الحماية يطلق آلية تحرير بأسلوب مشابه.

فيما يلي بعض من الميزات الأساسية للمفاتيح الكهربائية:

a. إمكانية عزل الآلية الداخلية بهدف المراقبـة. هذه الخاصة هامة حيث يتم تجهيز المفتاح بآلية تشابك كاملة لتجنب فتح أي جزء من الغلاف ما لم يكن الوصول إلى جهد التغذية العالي ممنوعاً.



الشكل (15.2) صف مضاعف من القواطع التخلخلية 12 KV يسمح بتركيب مضغوط للمجموعة

b. يجب أن يكون العزل من تماسات القواطع إلى جوانب الغلاف كافياً للجهد والحمل الأعظمي الذي يستوجب تدخل القاطع للتعامل معه.

c. الاستعداد المسبق لعملية التشغيل اليدوي لأغراض الفحص في حال إخفاق عمل التحكم الكهربائي (إن كان متاحاً).

d. الاستعداد المسبق للتعامل مع الأجهزة التي قد نحتاجها. وهذه قد تكون إما على شكل مقياس أمبير أو مقياس فولت أو كليهما معاً على الوحدة ذاتها، أو محولات التيار أو الجهد الضرورية للربط مع اللوحة الرئيسية أو لوحة التجهيزات المستقلة.

من أجل لوحة مفاتيح كهربائية تعمل حتى 11 kV والقواطع الكهربائية التي تعمل حتى 33 kV، يمكن أن يتم العزل وفق الطرق التالية:

a. عن طريق عزل الوصلات بالقرب من غرفة القضبان الناقلة أو داخلها.

b. نوع طويل من آلية نقل الحركة حيث يمكن سحب قاطع الدارة شاقولياً أو أفقيا من غرفة القضيب الناقل قبل أن يكون بمقدورنا فتحه.

c. العزل من نوع Truck وفيه يكون قاطع الدارة مع توصيلاته الثانوية معزولاً بطريقة أفقية قبل عملية الفحص أو الضبط. الجدير بالذكر هنا أنه في بعض الحالات المعينة، قد نحتاج لأجهزة ذات عزل مضاعف (بمعنى العزل من الاتجاهين القادم إلى الجهاز والصادر عنه).

يكون العزل من جانب الدخل (الجانب الوارد إلى الجهاز) ضرورياً دائماً في حين يكون العزل من جانب الخرج ضرورياً إذا كان ذلك الجزء من الشبكة قابلاً للتفعيل من قبل آلية تحكم أخرى أو مصدر تغذية آخر. في مجموعة مفاتيح التحكم التقليدية، يتم العزل من الجانبين بشكل آلي.

يتم تصنيف القواطع الكهربائية عادةً اعتماداً على جهد الدارة التي ستركب عليها، والتيار الأسمي المصممة من أجل تمريره بشكل مستمر وذلك بهدف وضع حد لارتفاع درجات الحرارة عن القيم الآمنة، وتردد التغذية، وسعة عملية القطع بواحدة kA، وسعة العمل بواحدة kA (ذروة)، أي ذروة التيار الآنية، والتيار المنتج

الأعظمي الذي سيمر من المفتاح بدون أضرار ولمدة زمنية محددة (عادة ثانية واحدة أو ثلاث ثوان).

تغطي المواصفة BS EN 60947-2 القواطع الكهربائية ذات معدلات جهود تصل حتى 1000 V متناوب و 1200 V مستمر. فهي تحل مكان المواصفات BS 4752 وBS 862:1939 التي تغطي القواطع الكهربائية الهوائية للأنظمة حتى 600 V وBS 936:1960 المتعلقة بالقواطع الزيتية. إنها كذلك تلغي بعض أجزاء BS 116:1952 المتعلقة بالقواطع الزيتية لأنظمة التيار المتناوب، وكذلك BS 3659:1963 المتعلقة بالقواطع الهوائية لأنظمة التيار المتناوب، والتي تتعلق بقواطع تمتلك معدلات جهد تصل ضمناً إلى 1000 V.

يجب أن تمتلك جميع القواطع الكهربائية القدرة على تنفيذ عدد محدد من دورات العمل الميكانيكي والكهربائي، تتكون كل دورة منها من عملية إغلاق متبوعة بعملية فتح (فحص التحمل الميكانيكي) أو عملية وصل تليها عملية فصل أو مقاطعة (فحص التحمل الكهربائي). يبين الجدول (15.1) عدد دورات اختبار التحمل الميكانيكي.

الجدول (15.1) عدد دورات العمل لاختبار التحمل الميكانيكي (مأخوذ من BS 4752)

1	2	3	4	5	6	7
معدل التيار الحراري A	عدد دورات العمل دورة/سا	عدد دورات العمل				
		جميع القواطع الكهربائية	القواطع الكهربائية المصممة بحيث تتم صيانتها		القواطع غير المصممة لأن تتم صيانتها	
		مع تيار بدون صيانة n	بدون تيار n'	المجموع الكلي n+n'	بدون تيار n"	المجموع الكلي n+n"
$I_{th}\le 100$	240	4000	16 000	20 000	4000	8000
$100< I_{th}\le 315$	120	2000	18 000	20 000	6000	8000
$315< I_{th}\le 630$	60	1000	9 000	10 000	4000	5000
$630< I_{th}\le 1250$	30	500	4 500	2 500	3000	
$1250< I_{th}\le 2500$	20	100	1 900	2 000	900	1000
$2500< I_{th}$	10	(خاضع للتوافق بين المصنع والمستثمر)				

التحميل الزائد والحماية من الأعطال

يمكن تقسيم الأعطال الكهربائية بشكل عام إلى أعطال القصر (short-circuits) وأعطال التحميل الزائد (overloads). ومن الأهمية بمكان التمييز بين هذين النوعين. تتميز أعطال القصر عادة بانهيار العزل الموجودة إما بالنسبة للأرضي أو بين أقطاب الدارة بينما تقع أعطال التحميل الزائد عبر أداة تتغذى من مفتاح كهربائي بحيث يخضع المفتاح لطلب مرتفع جداً يتجاوز استطاعته، على سبيل المثال نذكر عملية الانهيار الكلي أو الجزئي لمقلع المحرك.

يمكن تأمين الحماية من الأعطال الكهربائية عادةً إما عن طريق المنصهرات (fuses) أو عن طريق قواطع الدارة (Circuit breakers). في بعض الحالات تستخدم المنصهرات بالاشتراك مع القواطع الكهربائية من أجل تأمين عملية فصل تيارات القصر ذات القيم الأعلى. وهذا ما يؤدي إلى استخدام قواطع مصبوبة (moulded-case) ذات معدلات أقل.

في دارات توزيع الجهد العالي، هناك ترتيب آخر لدارات الحماية هو تركيب منصهرات على التسلسل مع مفتاح زيتي، عند فصل المنصهرة، يتم لفظ رأس ضارب يقوم بفصل المفتاح الزيتي.

أنواع المنصهرات: الشكل الأرخص والأبسط للحماية من تجاوز التيار هو المنصهرة. هناك نوعان من المنصهرات المستخدمة هما:

1. النوع نصف المعلب (semi-enclosed type)، ويتألف من حامل من البورسلان أو البلاستيك مع مقبض يمر من خلاله سلك المنصهرة النحاسي المطلي بالقصدير. بما أن عامل الانصهار للأنواع نصف المغلقة أعلى منه للنوع المغلق كلياً وبما أنها عرضة لتيارات أعطال محتملة ذات قيم أعلى، فإنه لم يعد ينصح باستخدامها بالرغم من أنها ستبقى لسنوات في الخدمة قبل اختفائها نهائياً.
2. النوع المغلق كلياً (totally enclosed) أو نوع المنصهرة المعلب (Cartridge) والذي فيه تغلف المنصهرة بحد ذاتها بواسطة أسطوانة من مادة قاسية وغير قابلة للاشتعال وذات أطراف معدنية مغطاة، وتملأ بمسحوق غير قابل للاحتراق، أو

أي مادة خاصة أخرى. تنص التعليمة 533-01-04 على أنه من المفضل أن تكون المنصهرات من النوع المعلب (Cartridge type).

معدلات المنصهرات (Rating of fuses): يجب اختيار معدلات المنصهرات المستخدمة في دارة معطاة بكثير من العناية. بالنسبة للدارات ذات المهام العامة منخفضة الجهد، ذات الحمولات غير التحريضية مثل التسخين والإضاءة، يجب أن تمتلك المنصهرة التي يقع عليها الاختيار معدل تيار يتجاوز تيار الحمل الكلي للدارة، ولكن يجب أن يكون أقل من معدل تيار الكبل، وبالتالي فإن الكبل يكون محمياً كلياً ضد أعطال الحمل الزائد وقصر الدارة.

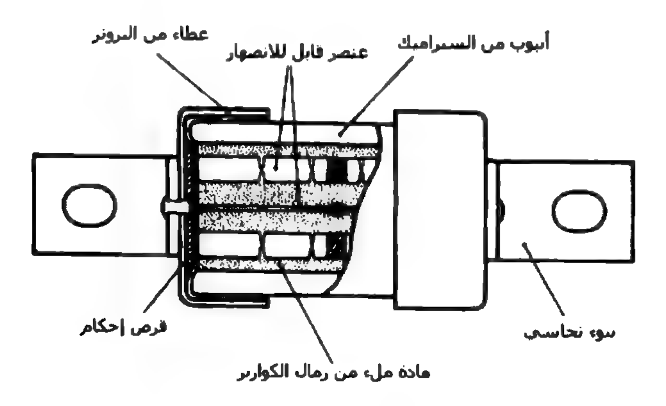
من جهة أخرى، في الدارات التي تحوي ملفات تحريضية أو سعوية، فإن تيارات التدفق الناتجة تفرض علينا اختيار معدل تيار المنصهرة. لهذا السبب فإنه في دارة المحرك، يجب ربط قيمة تيار الإقلاع وديمومته مع منحنيات الزمن/التيار الخاصة بالمنصهرة، والمنصهرة المنتقاة لمقاومة هذا الارتفاع في التيار يجب أن تمتلك معدل تيار يصل لثلاثة أضعاف تيار الحمل الكامل للمحرك. في مثل هذه الدارة، تؤمن المنصهرة الحماية من القصر بينما يتم تأمين الحماية من التحميل الزائد عبر وسائط أخرى.

المنصهرات المعلبة (Cartridge fuses): تتوفر المنصهرات المعلبة للأنظمة حتى 660 V بمعدلات تيار تتراوح من 2 إلى 1600 أمبير ومعدلات قدرة قطع تزيد عن 50 kA. يمكن لبعض المنصهرات فصل تيار يصل إلى 200 kA . المعدلات العالية من kA يمكن الحصول عليها غير أنها ليست قياسية. يوضح الشكل (15.3) المقطع العرضي لمنصهرة جهد منخفض.

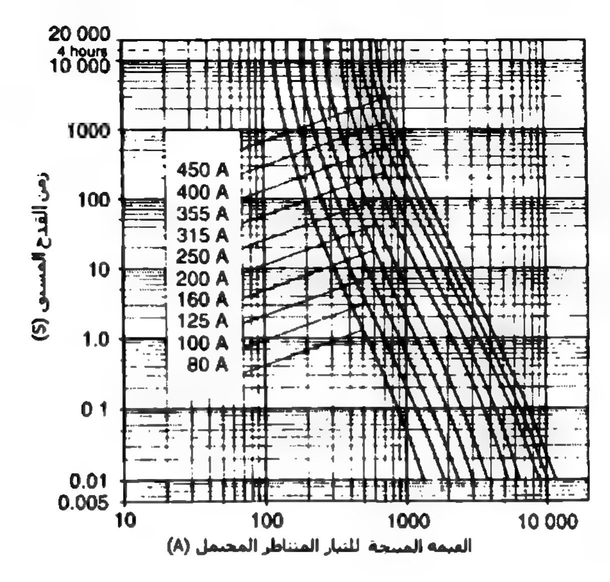
لا يقل معدل قدرة القطع عند 11 kv عن 13.1 kA ومعدلات التيار المتوفرة تصل حتى 350 A. أما ميزات المنصهرات المعلبة ذات التصميم الجيد فهي:

التمييز (Discrimination): ستعمل المنصهرة الأقرب لمكان العطل، وهذا يضمن عزل الدارة العاطلة فقط، ولن تتأثر الدارات السليمة المتبقية. ميزة التمييز هذه متأصلة في المنصهرات من النوع المعلب، وهذا ما سيتضح عند إلقاء نظرة سريعة على منحنيات التيار/الزمن لمنصهرات ذات أحجام مختلفة في الشكل (15.4). سوف

نشاهد ازدياد سرعة العملية لأي قيمة خاصة للحمل الزائد أو لتيار العطل ١٥.١٦ كانت المنصهرة أصغر.



الشكل (15.3) بنية منصهرة معلبة حديثة



الشكل (15.4) مجال T النموذجي: خصائص التيار/الزمن

سرعة عمل كبيرة في حالة القصر: تمكننا هذه الخاصية من استخدام المنصهرات في الحماية الاحتياطية لمقلعات المحرك والقواطع الكهربائية منخفضة القدرة على القطع. من أجل هذه الأغراض تكون قدرة القطع بحد ذاتها غير كافية. يجب أن تكون سرعة عمل المنصهرات المستخدمة للحماية الاحتياطية أعلى من سرعة عمل مقلع المحرك أو دارة القاطع المراد حمايته، وإلا فإن الجهاز تحت الحماية سيتضرر قبل أن تعمل المنصهرة (أي تنصهر).

اختيار المنصهرات: لدى اختيار المنصهرات لتناسب أي وضع خاص، يجب أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:

1. *معدلات القصر للمنصهرات المعلبة،* أثبتت المنصهرات المعلبة للتطبيقات الصناعية منخفضة الجهد القدرة عموماً على مقاطعة تيارات العطل حتى 80 kA من أجل 415 V، وبعض تصاميم هذه المنصهرات تقطع وبشكل آمن تيارات العطل هذه عند 660 V. ولذلك فهي تملك سعات قطع كافية ومناسبة للغالبية العظمى من التطبيقات لكن يجب عدم استخدامها عند جهود أعلى من المعدلات المخصصة لها.
2. *معدل تيار المنصهرة:* وهو يمثل التيار الأعظمي الذي يمكن للمنصهرة أن تتحمله بشكل مستمر دون أن تنهار. كما تم الإشارة للتو، فإن معدل تيار المنصهرة المنتقاة لأي دارة يجب ألا يقل عن تيار الحمل الكامل لها.
3. *الحماية من التحميل الزائد:* إن نوع المنصهرة المخصصة للأغراض العامة (gG) المغطاة في الجزء الثاني من BS 88 يقوم بحماية الكبل المعزول من التحميل الزائد بمواد PVC إذا كان معدل تيارها I_N مساوٍ إلى أو أصغر من معدل تيار الكبل I_z. راجع التعليمة 433-02-01 من BS 7671.
4. *دارات المحرك:* في دارات المحركات، تقوم ريليات التحميل الزائد للمقلع بحماية الكبل المرتبط من التحميل الزائد، وتوفر المنصهرة الدرجة المطلوبة لحماية الدارة من القصر. يقوم المصنعون عادةً بوضع توصيات تأخذ بعين الاعتبار معدلات المنصهرة اللازمة لحل مشكلة الازدياد المفاجئ لتيار إقلاع المحرك، وكما تشير الأحجام الصغرى للكبلات والتي توفر حماية من القصر. تطبق

التعليمة 03-03-434 للمواصفة BS 7671 على كل من المنصهرة والكبل المختار بغية إنجاز حماية مقنعة.

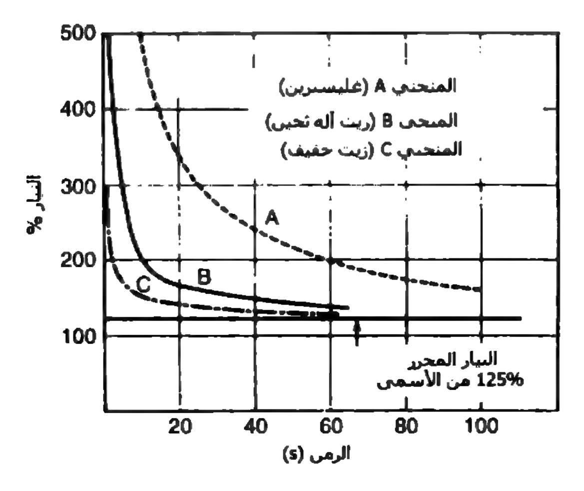
في مجموعة مصممة هندسياً بشكل جيد، يقوم المقلع بفصل جميع الحمولات الزائدة حتى حدود التوقف الكامل للعنصر الدوار وعندئذ ستعمل المنصهرات فقط في حال حدوث عطل كهربائي. يشير مصنعو المقلع إلى معدل المنصهرة الأعظمي الذي قد يستخدم لمقلع معطى لضمان الوصول إلى حماية مرضية.

القاطع الكهربائي الآلي: يمتلك القاطع الكهربائي، والذي لطالما اعتبر أغلى بكثير من المنصهرة، ميزات هامة تجعل منه عنصراً أساسياً لجميع الدارات التي يطلب منها عملاً متكرراً ودقيقاً. يستخدم هذا القاطع عادة في جميع الدارات الرئيسية في حين يستخدم عنصر المنصهرة مع الدارات الجزئية.

تحرير الحمل الزائد: التحرير الآلي الأبسط المستخدم هو وشيعة التيار الزائد ذات التأثير المباشر وهي عبارة عن ملف لولبي يتم تغذيته من خلال التيار المار عبر الوحدة. وتتم معايرته بحيث يعمل عندما يصل التيار إلى قيمة محددة مسبقاً. إعدادات التحرير هذه قابلة للضبط، ابتداءً من تيار الحمل الكامل العادي حتى 300% من أجل التحرير الآني و 200% من أجل عملية التحرير المؤخرة زمنياً. وبذلك يمكن الحصول على إعدادات قريبة من تيار الحمل الكامل بالقدر المطلوب. يمكننا في الأنظمة ثلاثية الطور المعزولة الحصول على حماية كاملة بوضع وشيعتين في طورين من الأطوار الثلاثة، وذلك لأن أي عطل يجب أن يشمل على طورين، لكن في حالة نظام مؤرض، يجب وضع وشائع حماية في الأطوار الثلاثة إلا إذا توفرت الحماية من التسريب حيث يمكن الاكتفاء عندها بوشيعتين للحماية من الحمل الزائد. من أجل قيم التيار الصغيرة، من المعتاد وصل وشائع التيار الزائد مباشرة بشكل تسلسلي لكن ومن أجل القيم الأكبر، يتم تشغيل هذه الوشائع عن طريق محولات تيار.

التأخير الزمني (Time lags): إذا كان من المفروض الاستفادة من إمكانية الحصول على إعدادات تيار زائد قريبة من تلك التي تقدمها، سنحتاج إلى شكل من أشكال

أدوات الإعاقة التي ستؤدي إلى تأخير عملية التحرير (releasing)، باعتبار أن هذه العملية تتم بشكل آني عادة. تتخذ أداة التأخير الزمني، عادةً شكل المكبس والمخمد، ومهمتها تأخير عملية التحرير للسماح بالتقلبات المفاجئة للحمل، وكذلك لتقدم تدابير للتمييز. عملياً، تشبه هذه الخاصة وإلى حد بعيد تلك التابعة للمنصهرة السائدة، يعطي الشكل (15.5) الخصائص النموذجية لوشيعة مؤخر زمني مخمد - ربما يعتبر الشكل الأكثر انتشاراً في الاستخدامات العامة.



الشكل (15.5) منحنيات الخصائص لسلسلة وشيعة تحرير مع مخمد زيتي

استخدام المنصهرات المحددة زمنياً: عندما تعمل وشائع التيار الزائد كمحولة، فإنه من الممكن استخدام منصهرة تفريغ عوضاً عن المبطئ الميكانيكي. هذه المنصهرات مصممة لقصر دارة وشائع التحرير، والتي لهذا السبب لا تعمل حتى تذوب المنصهرة. والمنصهرة بحد ذاتها تكون عادة من سلك من سبائك القصدير أو من بعض المعادن غير التالفة الأخرى، تتم معايرتها بدقة بالنسبة لتيار الفصل.

عند استخدام المنصهرة المحددة زمنياً، لا يمكن الحصول على أية مكتسبات عند جعل وشائع التحرير بحد ذاتها قابلة للضبط، وبالمقابل - يمكن أن تسود إعدادات التحرير بتغيير تيار قطع المنصهرات.

المنصهرات المعلبة والقواطع الكهربائية: عند استخدام قاطع الدارة، يجب انقضاء زمن معين بين عمل آلية التحرير والتوقف الفعلي، ومع الأنواع التجارية للقواطع، يكون هذا الزمن عادةً من مرتبة 0.1 sec. من ناحية ثانية، فإن للمنصهرات المعلبة القدرة على التخلص من عطل ثقيل جداً في غضون أقل من نصف دورة، ولهذا، ستعمل في هذه الشروط لفترة طويلة قبل أن يتاح الوقت للقاطع لأن يبدأ.

الريليات وعناصر الحماية

وصلت حماية المنشأة الصناعية وخطوط النقل والتوزيع إلى مرحلة متقدمة من الكمال، حيث يمكن حالياً عزل الأقسام التي يقع فيها الخطأ قبل أن يتسبب الخطأ أو التحميل الزائد في تضرر هذا الجزء أو الأجزاء المتبقية من النظام. اعتماداً على كلفة وقيمة المفاتيح الكهربائية وعلى دورها في المنظومة التي تعتبر هذه المفاتيح جزءاً منها، تتوفر منظومات حماية متطورة جداً وقد يكون هناك بالإضافة لدارات الحماية المستقلة منظومة لحماية القضبان الناقلة للقضبان الرئيسية والاحتياطية والتي يمكن أن يتم اختيار دارات حماية مستقلة من أجلها.

في جميع الطرق المختلفة، تكون الميزة الأساسية هي القيام بعزل الجزء المتعطل، وبالأخذ بعين الاعتبار مبادئ المنظومات المختلفة للحماية، يكون من المفهوم عادة أن يتم تنفيذ العزل الأساسي أو الفعلي عن طريق القواطع الكهربائية والتي يتم تشغيلها عادة بواسطة التيارات الناتجة عن عمل آلية الحماية. وعادةً ما يتم التحكم بتيار التحرير اللازم للقاطع عن طريق الريليات التي تعمل تباعاً بواسطة عناصر التحكم.

يمكننا استخدام مبادئ مشابهة لحماية الآلات كالمنوبات والمحولات، ...، إلخ، وكذلك من أجل الكبلات الهوائية. الفارق الجوهري هو فقط في أسلوب المواءمة ويصبح الفرق الأكثر أهمية في الواقع هو أنه على الخطوط الهوائية والمغذيات، قد

تحتاج بعض أنظمة الحماية إلى أسلاك إرشاد تقوم بوصل جهاز الحماية بين الطرفين، وهذا ما لا يكون مرغوباً فيه في بعض الأحيان. في حالات الآلات، هذه النقطة غير هامة لأن مجموعتي الحماية (مجموعة من كل جانب) غير مفصولتين بأية مسافة فعلية.

يحذر، في جميع الأنظمة، من إحدى أو من كلتا الصفتين التاليتين غير المرغوبتين، التحميل الزائد، والعزل الخاطئ. شروط التحميل الزائد والتي تجعل من الضروري فصل التغذية قد تنتج عن جهاز عاطل أو عن عملية تحميل زائدة ناتجة عن وصل جهاز بسعة كبيرة جداً بالنسبة للآلة أو الخط. أما العزل الخاطئ أو شروط الخلل فقد تكون إما بين النواقل أو بين أحد النواقل، أو جميعها، مع الأرض. عند التوصيل مع جميع ألسنة الحماية فإن التعابير أو المصطلحات التالية يتم تداولها:

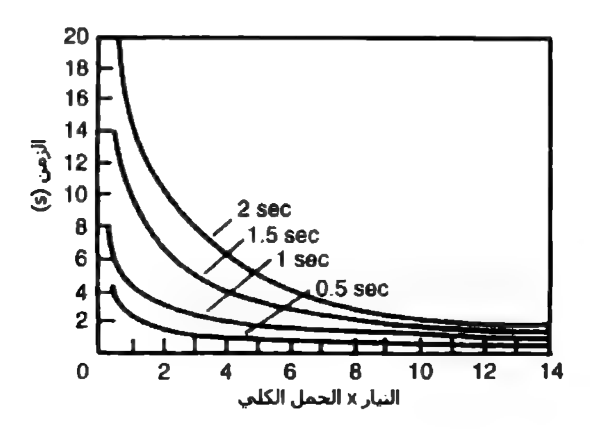
معدل الاستقرار (Stability ratio): قد تعين هذه النسبة قياس حساسية الطاقة للمنظومة (القدرة التمييزية للمنظومة). يمكن إرجاع الاستقرار إلى التيار الأعظمي الذي يمكن أن يمر من دون أن يؤثر على المهام الاسمية لعنصر الحماية. يمكن تعريف نسبة الاستقرار كذلك بأنها النسبة بين الاستقرار والحساسية.

الحساسية (Sensitivity): هي التيار (في الأمبيرات البدائية)، الذي سيغذي عنصر الحماية، في حالة خطوط التغذية والنقل، يمثل قياس الفرق بين التيار الداخل إلى الخط والتيار المغادر.

ريليات التحميل الزائد (Overload relays): الشكل الأبسط للحماية هو ذلك الشكل الذي يتم فيه فتح القاطع الكهربائي حال تجاوز التيار القيمة المعرفة بشكل مسبق. من أجل منظومات الجهد المتناوب المنخفض قد يُفعل تحرير الحمل الزائد آلية فتح القاطع الكهربائي مباشرةً أو من خلال ريليه حماية تركب عادةً على لوح مفاتيح دارة القاطع. من أجل منظومات الجهد المتناوب المرتفع، يجب أن تستخدم القواطع الكهربائية الزيتية، الهوائية، قواطع الدفع الهوائي، قواطع SF6 أو القواطع التخلخلية، ويجب أن تعمل وشائع التحرير لهذه القواطع عن طريق ريليات حماية أحياناً تكون مركبة على لوحة منفصلة.

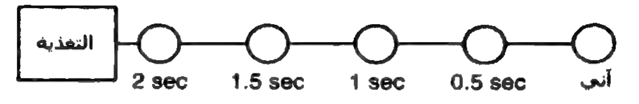
يمكن ملاحظة خصائص الزمن/التيار لريليات التأخير الزمني الأصغري المحدد العكسية (i.d.m.t.l) من المنحنيات المبينة في الشكل (15.6)، والتي تظهر التناسب العكسي للتأخير الزمني بين حدوث التحميل الزائد وعمل عنصر الحماية مع سعة الحمل

الزائد. يستخدم الإعداد أو التأخير الزمني عادةً ليشير إلى كيفية ضبط الريليه لشروط القصر وبالتالي فإن إعدادات الريليه التي من أجلها تم رسم المنحنيات ستكون كما هو مشار إليها.

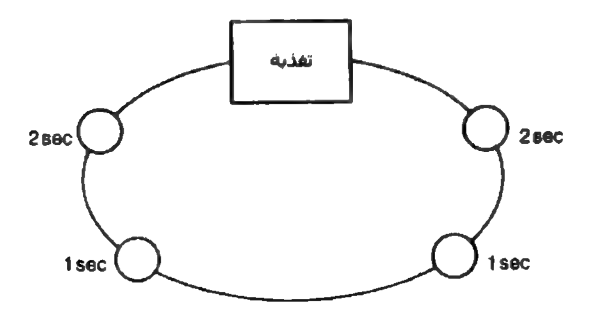


الشكل (15.6) خصائص الزمن - التيار لريليات التأخير الزمني العكسية

إن مبدأ التدريج على منظومة ما هو تناقص الوضع كالبدء بعيداً عن مصدر التغذية. مواضع الريليات التي رسمت المنحنيات من أجلها ستبدو كما هو واضح في المخططات المبينة في الشكلين (15.7) و (15.8). يوضح الشكل (15.7) موزعاً تمت تغذيته من طرف واحد في حين يبين الشكل (15.8) موزعاً تمت تغذيته على شكل حلقة أما الموزع المغذى من الطرفين فسيكون مشابهاً لذلك المبين في الشكل (15.8).
تكون ريليات التيار الزائد الإلكتروميكانيكية عادةً من النوع التحريضي. أما العمل فهو مشابه لذلك الخاص بمقياس الاستطاعة التحريضي. حيث يدور قرص معدني بمواجهة نابض، وتكون زاوية الدوران متناسبة مع التيار. عندما يدور القرص بزاوية معينة، يتم إغلاق دارة التحرير (trip circuit). وبما أن سرعة الدوران متناسبة مع الحمل، فإننا نحصل على عنصر الزمن العكسي أما الإعداد الزمني فيمكن ضبطه عن طريق تغيير قيمة الزاوية التي يجب أن يدورها القرص قبل تفعيل دارة التحرير.



الشكل (15.7) تدريج أو تصنيف ريليات التيار الزائد للتغذية القطرية

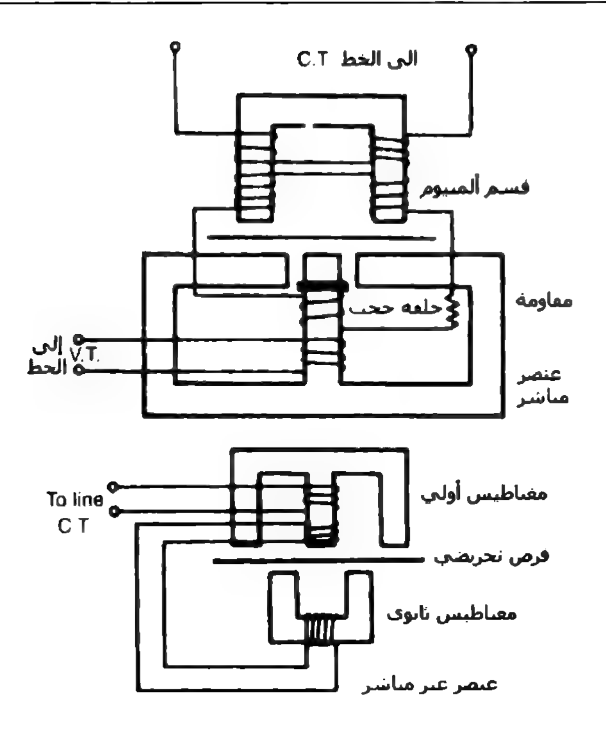


الشكل (15.8) التصنيف من أجل التغذية الحلقية

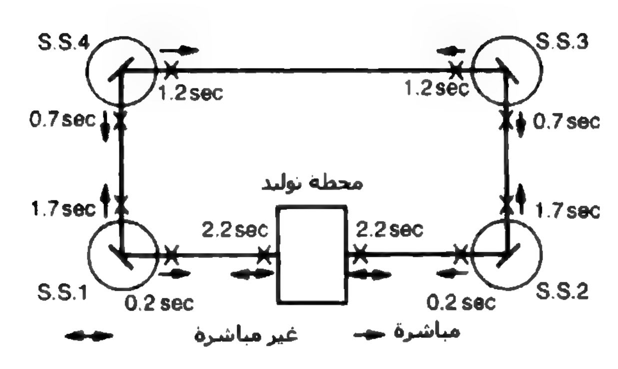
استفادت الأجيال الأخيرة من ريليات التيار الزائد، وأعطال الأرضي من تكنولوجيا المعالج الصغري التي تمتاز بالفوائد التالية:

1. ميزات الزمن/التيار المبنية في الريليه
2. مجال أوسع من الإعدادات
3. دقة متزايدة تسمح بمجالات تدرج أقصر
4. إمكانية فحص الريليه في الموقع بالضغط على كبسة ما

الحماية الموجهة: بالإضافة للحماية من التحميل الزائد، من المرغوب فيه غالباً، فصل التغذية آنياً، في حالة التيار العكسي، في هذه الحالة تستخدم ريليات موجهة، وهذه الريليات يمكن دمجها مع ريليات التيار الزائد عند الحاجة كما هو مبين في الشكل (15.9). يتم وصل التماسات التابعة للعنصر الموجه بحيث أنها، ضمن شروط العطل ومع مرور التيار في الاتجاه الخاطئ، تقوم بإكمال دارة تشغيل وشيعة تابعة لعنصر من النوع (i.d.m.t.l). يظهر الشكل (15.10) استخدام الريليات الموجهة وغير الموجهة:



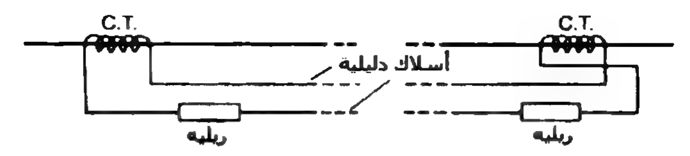
الشكل (15.9) ريليات التيار الزائد المباشرة



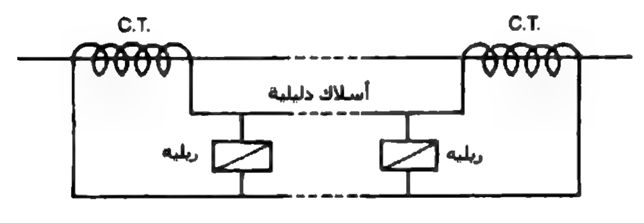
الشكل (15.10) استخدام الريليات المباشرة وغير المباشرة

أنظمة السلك الدليلي (Pilot wire systems): تعمل أنظمة الحماية، والتي تتطلب أسلاك دليلية لاستخدامها على بعض خطوط الكبلات الهوائية أو كبلات التغذية، وفق المبدأ الذي يعتمد على عدم تساوي التيارات ويشار إلى هذه النظم عادة بالنظم التفاضلية (differential systems). تستخدم نفس الطرق لحماية الآلة والمحولة، طبعاً تكون الأسلاك الدليلية أقصر بكثير في هذه الحالة ولذلك لا يشار إلى هذه الأسلاك على أنها "أسلاك دليلية".

المبدأ الأساسي لهذه النظم هو أنه إذا كان التيار الذي يدخل الناقل هو نفسه الذي يخرج منه، فلا يوجد هناك خلل ولكن حالما يظهر فرق أكبر مما هو مسموح به، يجب فصل التغذية. يتم استخدام كل من نظم الجهد المتوازن والتيار المتوازن. تتوضع محولات التيار عند كل نهاية للناقل، وتتم موازنة الجهد أو التيار في ملفات الثانوي مقابل بعضها البعض. من أجل الجهد المتوازن (الشكل 15.11)، يتم توصيل الملفات بطريقة مقلوبة (back to back) وبذلك لا يمر أي تيار في الشروط السليمة. من أجل التيار المتوازن، يتم وصل الملفات الثانوية على التسلسل ويمر التيار في الأسلاك الدليلية. في هذه الحالة تتحدد شروط الخلل بواسطة الريليات المرتبطة عبر الأسلاك الدليلية كما هو مبين في الشكل (15.12).



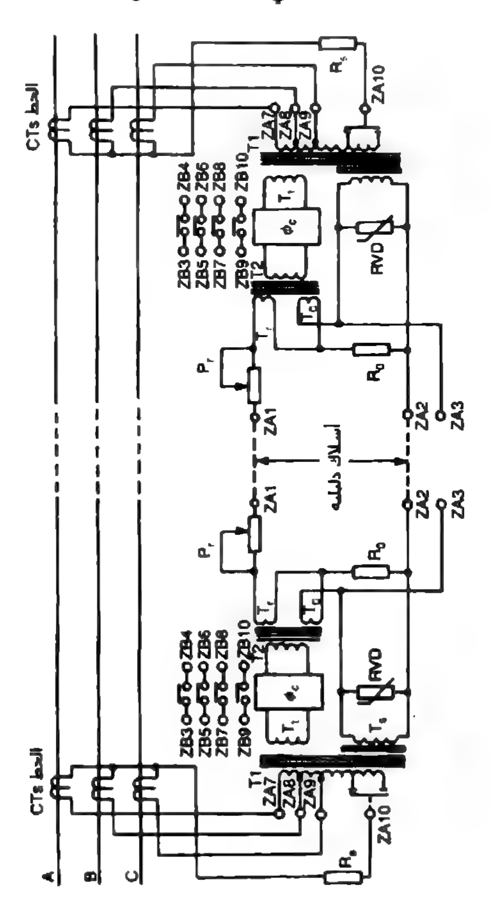
الشكل (15.11) نظام موازنة الجهد



الشكل (15.12) نظام موازنة التيار

يعرف نظام الحماية المتوازن الأصلي باسم "نظام Merz-Price". تم إجراء العديد من التعديلات على هذا النظام بحيث أن معظم المصنعين لهم طرقهم الخاصة في تطبيق هذا المبدأ وتحسين الأداء الفعلي بالمقارنة مع النظام الأصلي البسيط (نظام Merz-price).

التعديل النموذجي للنظام السابق يتمثل في النظام Translay S. يوضح الشكل (15.13) ترتيب الدارة الأساسية للمغذي التفاضلي Translay S من شركة GEC Measurements.



الشكل (15.13) مخطط دارة النظام المغذي التفاضلي Translay S

تولد محولة التيار الإجمالي T1 في نهاية كل خط تياراً أحادي الطور متناسباً مع إجمالي التيارات ثلاثية الطور في الخـــط المحمي، يتم تحرير القسم الحيادي لملفات التحصيل وذلك بهدف توليد حساسيات متعاقبة من أجل أعطال الأرضي. تؤمن الملفات الثانوية التيار للريليه والدارة الدليلية على التوازي مع مقاومة غير خطية (RVD). يمكن اعتبار هذه المقاومة غير ناقلة عند مستويات تيار الحمل، لكنها تنقل تياراً متزايداً عند حدوث الخلل وبهذا يتم تحديـــد جهد الملف الثانوي الأعظمي.

عند المستويات العادية للتيار، يمر تيار الملف الثانوي من خلال عمل الملف T0 للمحولة T2 ومن ثم ينقسم إلى مسارين منفصلين، الأول من خلال المقاومة R0 والثاني من خلال ملف الكبح Tr للمحولة T2 والدارة الدليلية والمقاومة R0 للريليه البعيدة.

أما محصلة التيارات المارة في Tr و T0 فيتم تسليمها بواسطة الملف الثالث على T2 إلى مقارن الطور حيث تقارن مع الجهد عبر Tt للمحولة T1. تكون القوة المحركة الكهربائية المحرضة عبر T1 متفقة بالطور مع تلك المحرضة عبر الملف الثانوي Ts والتي تتغلب فعلياً على الجهد عبر R0.

إذا تم الأخذ بالحسبان القيم النسبية لمعدلات أو لنسب الملفات وقيم مقاومة الدارة، يصبح من الممكن إثبات أن الكميات المسلمة للمقارنة في الطور هي:

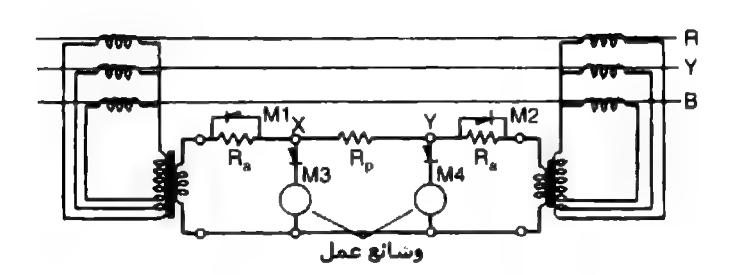
$$(\bar{I}_A + 2\bar{I}_B)\,\text{and}\,(2\bar{I}_A + \bar{I}_B)$$

حيث I_A و I_B هما التيارات المغذاة ضمن الخط في كل نهاية. من أجل الأخطاء المباشرة (through faults) يكون لدينا $I_A=-I_B$. تكون التعابير بإشارة معاكسة من أجل قيم I_B التي تكون سالبة بالنسبة لقيم I_A وتكون قيمها محصورة بين $I_A/2$ و $2\,I_A$. يكون النظام مستقراً مع هذه القطبية النسبية ويعمل من أجل جميع قيم I_B خارج الحدود المبينة أعلاه.

عند فتح دارة الأسلاك الدليلية، سيميل تيار الدخل لتشغيل الريليه وبالمقابل عند قصر هذه الدارة، سيتم كبح الريليه بحيث تحافظ على تماسات التحرير مفتوحة. بغية المحافظة على خاصة الانزياح (bias) عند القيمة التصميمية، من الضروري

تضعيف مقاومة الحلقة الدليلية إلى 1000 Ω أما مقاومة التضعيف Pr (padding resistor) فهي متوفرة في الريليه لهذا الغرض. من ناحية ثانية عندما تستخدم محولات عزل دليلية فإن مجال المفرعات الأولية يمكننا من مطابقة الأدلة، بمقاومة حلقية تصل حتى 250 Ω، مع الريليه.

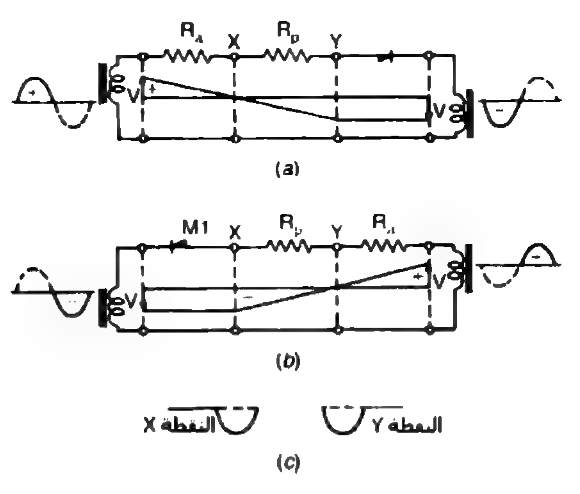
حماية المغذي عالي السرعة Solkor-R: تنتمي أنظمة حماية المغذي عالية السرعة Solkor-R إلى صنف التيار الدائر ذي الحماية التفاضيلية، من حيث أن الملفات الثانوية لمحولة التيار تكون موصولة بطريقة تضمن جريان تيار ما حول الحلقة الدليلية عند حدوث عطل خارجي. يتم ربط وشائع عمل ريليه الحماية على التفرع مع الأدلة، عبر نقاط متساوية الكمون لدى مرور التيار حول الأدلة. في هذا المخطط الخاص، تتواجد نقاط النقل متساوية الكمون عند إحدى النهايات أثناء نصف دورة واحدة لتيار العطل وعند النهاية الأخرى أثناء نصف الدورة الآخر. أثناء نصف الدورات، عندما تكون الريليات عند إحدى النهايتين ليست عند نقطة المنتصف الكهربائي للأدلة. فإن الجهد الذي يتولد عبرهما يجبرهما على العمل في النمط الكابح. عندما يتم وصل محولات التيار كما هو مبين في الشكل (15.14) يطبق تيار أحادي التصور على الدارة الدليلية وبالتالي يتم تفعيل عملية مقارنة بين التيارات عند كل نهاية. تم اختيار التفريع على محولات التجميع لإعطاء توازن أمثلي بين متطلبات إعدادات العطل والاستقرار.



الشكل (15.14) وصلات مغذي السلك الدليلي Solkor-R إلى نظام الحماية

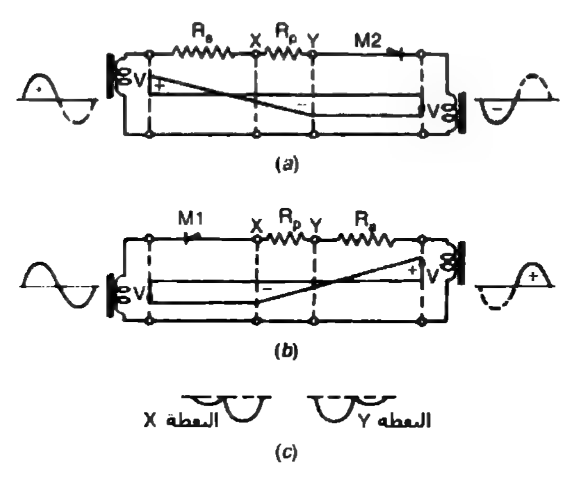
في المخطط، مقاومة السلك الدليلي كمقاومة وحيدة Rp. يتشكل القسم الباقي من الحلقة الدليلية من مقاومتين Ra ومقومين M1 و M2. تبنى وشائع التشغيل بدون توجيه عن طريق المقومات M3، M4 وتربط على التفرع مع الأدلة عند النقاط X، Y.

عند حدوث خلل خارجي ما، يسري تيار متناوب حول الحلقة الدليلية (pilot loop). وهكذا وخلال أنصاف دورات متعاقبة، يتم قصر إحدى المقاومتين Ra، الموجودتين على نهايتي الأدلة، أو الأخرى وذلك عن طريق المقوم المرتبط بهما. بحيث تكون المقاومة الكلية في الحلقة، وفي أي لحظة، ثابتة فعلياً وتساوي إلى Ra+Rp. يتغير الوضع الفعال للمقاومة Ra بين كلتا النهايتين والذي يعتمد على اتجاه التيار. هذا التغير في الوضع الفعال للمقاومة Ra يؤدي إلى جعل الجهد المتوزع بين مراكز الأدلة يختلف من أجل أنصاف الدورات المتعاقبة. يوضح الشكلين (15.15.a) و (15.15.b) تدرج الكمون الناتج بين مراكز الأدلة عندما تتساوى Ra و Rp.



الشكل (15.15) سلوك الدارة الأساسية تحت شروط عطل خارجي عندما Ra=Rp يظهر المخطط (a) و (b) الدارة الفعالة أثناء نصف دورة عمل ناجحة. المخطط (c) يبين الجهد عبر النقطتين x و y خلال دورة عمل كاملة

من هذين المخططين، نلاحظ أن الجهد عبر الريليات عند النقاط Y، X هو إما صفر أو في الاتجاه المعاكس لانتقال التيار عبر المقومات M3، M4. عندما تتساوى المقاومتين Ra وRp يظهر جهد عكسي على طرفي وشيعة الريليه خلال نصف دورة واحدة وجهد صفري خلال نصف الدورة التالي. يظهر الشكل (15.15.c) الجهد عند النقطتين X و Y. عملياً تكون المقاومات Ra أكبر من Rp وهذا ما يؤدي إلى حدوث كمون صفري في المقاومات Ra كما هو مبين في الشكل (15.16.a) و(15.16.b).

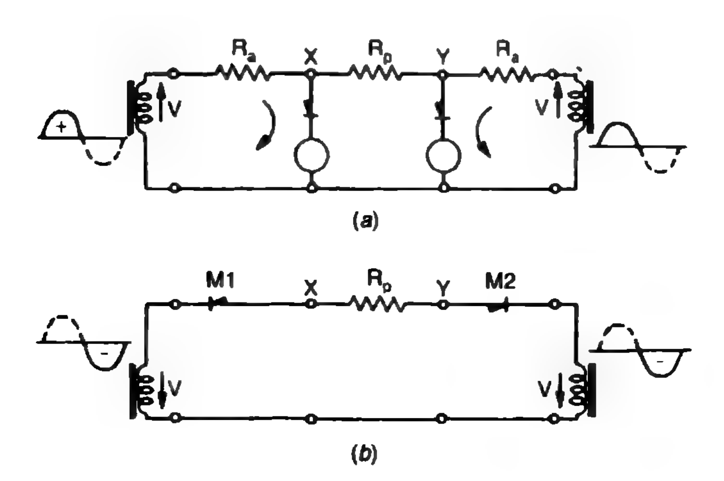


الشكل (15.16) سلوك الدارة الأساسية تحت شروط عطل خارجي عندما Ra>Rp. يظهر المخطط (a) و (b) الدارة الفعالة أثناء نصف دورة عمل باتجاه والمخطط (c) يبين الجهد عبر النقطتين x و y أثناء دورة عمل كامله.

من ذلك نلاحظ بأنه عوضاً عن امتلاك جهد صفري عبر كل وشيعة عمل ريليه على نصف الدورات المتناوبة، هناك جهد عكسي مطبق على كل دورة، ويجب تصفير هذا الجهد وتطبيق جهد موجب قبل أن يتم تشغيل الريليه. وهذا يزيد من استقرار النظام عند الأعطال. عند حدوث عطل خارجي ومع تيار عطل مغذى بشكل متساوٍ من كلا النهايتين، تكون شروط الدارة الفعلية خلال كل نصف دورة كما هي مبينة في الشكلين (15.17.a) و (15.17.b). تمر نبضات من تيار

التشغيل في كل ريليه على نصف دورات متناوبة، والريليه الموجودة في كل طرف تعمل. عند عطل يغذى من نهاية واحدة فقط، يتم تنشيط الريليه الموجودة عند النهاية البعيدة عن التغذية على التوازي مع تلك الموجودة عند النهاية القريبة منها. تعمل الريليه عند نهاية التغذية بقيمة التيار المحددة مسبقاً (setting current)، بينما تعمل الريليه عند النهاية البعيدة عند تيار يساوي إلى 2.5 مرة تقريباً من التيار.

لذا تعمل الحماية عند كلتا نهايتي المغذي مع عطل داخلي يتم تغذيته من نهاية واحدة فقط وأن تيار الخلل ليس أقل من 2.5 مرة من التيار المحدد مسبقاً.



الشكل (15.17) سلوك الدارة الأساسية تحت شروط عطل داخلي. يأتي العطل من كلتا النهايتين. يبين المخطط (a) و (b) الدارات الفعالة أثناء نصف دورة عمل ناجحة

بالإضافة إلى المكونات الأساسية المعروضة أعلاه، تتضمن منظومة الحماية الكلية في كل نهاية مقاومتين لاخطيتين، مقاومة تفريغ "حشوة" ومقوم. تستخدم المقاومات غير الخطية من أجل تحديد الجهد الذي يظهر عبر الأدلة (الأسلاك الدليلية) والمكونات العاملة. تعيد مقاومات التفريغ مقاومة الحلقة الدليلية الكلية إلى القيمة القياسية

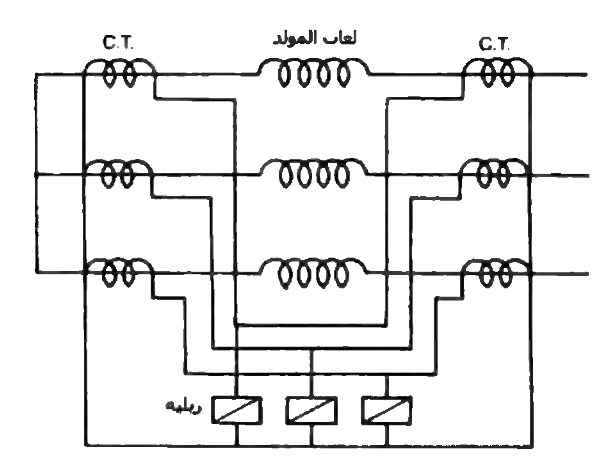
وهي Ω 1000 في كل الحالات. ولهذا السبب فإن الحماية تعمل تحت ظروف أو شروط ثابتة، ويكون أداؤها معتمداً بشكل كبير على مقاومة الكبل الدليلي.

يستخدم المقوم الموصول على طرفي وشيعة التشغيل من أجل تنعيم التيار المار عبر الوشيعة عند حدوث الأعطال الداخلية، وبذلك يتم تأمين طاقة أعظمية لعمل الريليه.

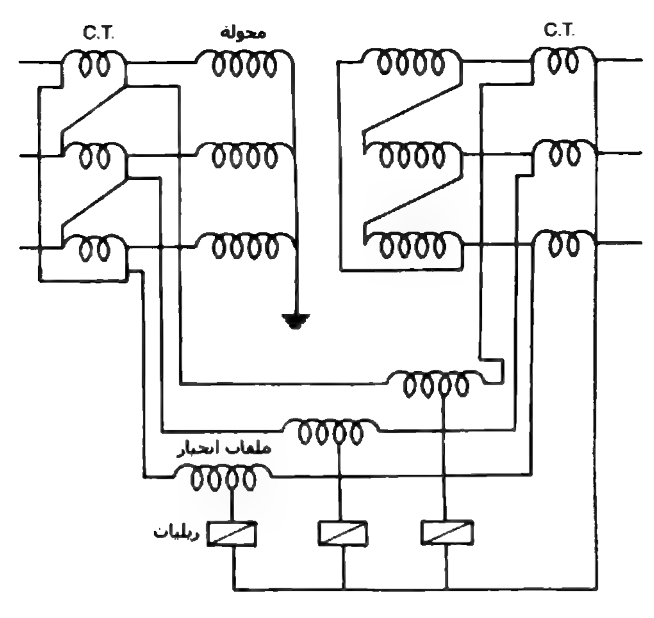
تكون عناصر التشغيل من نوع العنصر المتحرض الجاذب والمزود بثلاثة أزواج من التماسات يوصل كل زوج إلى أطراف مستقلة فهي مناسبة للوصل المباشر لوشيعة تحرير القاطع الكهربائي وبالتالي ليس هناك حاجة لريليه تكرار.

يتعلق الوصف أعلاه بالتصميم الأصلي للحماية Solkor R المستند على مبدأ تقويم نصف الموجة المبين في الشكل (15.14). التطوير الأخير هو Solkor Rf والذي يعتمد على مبدأ الموجة الكاملة. ولهذا النوع مميزات سرعة التشغيل الأعلى، وتسهيلات تضمين محولات العزل في الأدلة للسماح بزيادة جهود الأدلة حتى 15 kv. من دون محولات العزل فإن Solkor Rf مناسب للاستخدام مع أدلة 5 kV كما كانت الحالة بالنسبة لـــ Solkor R الأصلي.

يمكن تطبيق أنظمة حماية توازن التيار على الآلات الدوارة كما على المحولات. الشكل (15.18) يبين نظام نموذجي للمولدات حيث يمكن استخدام ريليه آنية غير منحازة لتقدم حماية كافية. إن خصائص المحولات تجعلها مناسبة لاستخدام ريليه غير منحازة (بدون انحياز) لأنها تأخذ عدة معاملات بعين الاعتبار كالتفريغ وتيارات التدفق الممغنطة وطريقة توصيل الطور للمحولة. لهذه الأسباب فإن CTs مرتبطة بشكل متفق بالطور إلى وصلات المحولة وتستخدم ريليه منحازة كما هو مبين في الشكل (15.19). أضف لذلك أن ميزة انحياز التوافقية تضاف للريليه لمنع التشغيل تحت تيارات التدفق الممغنطة.



الشكل (15.18) حماية المولد



الشكل (15.19) حماية المحولة

الحماية عن بعد (Distance protection): إن أنظمة حماية الأسلاك الدليلية غير اقتصادية من أجل الخطوط الأطول من 24 km حتى 32 km. لمثل هذه الخطوط، من الضروري استخدام إما الحماية عن بعد أو حماية التيار الحامل أو الجمع بين الاثنتين. وهذه تتطلب أسلاك دليلية.

تكمن ميزة نظام الحماية عن بعد الرئيسية في استخدام ريليه يمكنها قياس ممانعة العطل، حيث يؤشر انخفاض الممانعة دون حد معين إلى وقوع العطل في المنطقة الآمنة وبالتالي ستعمل الريليه على تحرير القاطع الكهربائي. يتم شحن أو تغذية الريليه بالتيار والجهد وتعمل عندما تعطي النسبة E/I ممانعة أدنى من القيمة المعدة. تقوم الأنظمة القياسية للحماية عن بعد بحماية الخطوط الهوائية على ثلاث مراحل.

المرحلة الأولى ذات منطقة عمل تمتد من نقطة الترحيل عند أول محطة فرعية إلى نقطة على بعد 80% باتجاه المحطة الفرعية التالية. يؤدي العطل الذي يقع في هذا الجزء إلى تحرير حماية المحطة الفرعية الأولى بشكل فوري.

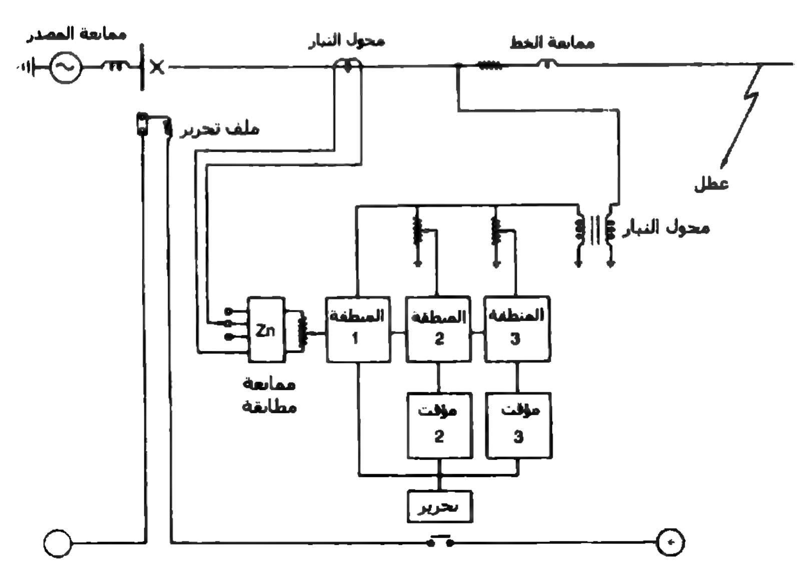
المرحلة الثانية ذات منطقة حماية تمتد من نقطة 80% التي تسبق محطة التحويل الثانية على طول المغذي الثاني حتى المحطة الفرعية الثالثة. يسبب العطل في المنطقة الثانية تحرير القاطع الكهربائي عند المحطة الفرعية الأولى بعد مرور الزمن الحدي للمنطقة الثانية ويؤمن الحماية للمغذي الثاني عن طريق عدم تشغيله.

المرحلة الثالثة ذات منطقة عمل تمتد من قبل محطة التحويل الثالثة بقليل وتوفر حماية احتياطية بتأخير أطول.

الوسائط التي يمكن من خلالها الحصول على مناطق العمل هذه والأزمنة في Reyrolle للنوع THR أنظمة الحماية عن بعد مبينة بشكل نموذجي بعناصر أحادية الطور في الشكل (15.20). في هذه المنظومة الخاصة، كل نوع خلل وكل منطقة تمتلك عنصر قياس خاص بها وبالتالي يلزم 18 عنصر ليغطي هذا النظام أعطال الطور وأعطال الأرضي في المناطق الثلاث.

المنطقتان الأولى والثانية مباشرتان، عادةً ريليات مواصلة مستقطبة عرضياً لكن يمكننا الحصول على خصائص مغايرة من أجل المتطلبات الخاصة وذلك عن طريق

وحدات مدمجة قابلة للاستبدال مباشرةً. تمتلك المنطقة الثالثة مميزات انزياح مشكلة ضد دخول الحمل. أو ناقلية مزاحة مستوية، حينما تستخدم أنظمة المفاتيح فهي تؤثر كريليه إقلاع.



الشكل (15.20) مخطط صندوقي مبسط لأنظمة الحماية عن بعد للنوع THR

في النظام الكامل، تكون ريليه المنطقة الثالثة غير ضرورية للإقلاع، غير أنها متضمنة لمنع تموجات الطاقة، وتسهيل عمليات فحص الخط. عناصر القياس للمناطق الثلاث ذات إعدادات محددة متعلقة بممانعة الخط والتي تعود إلى الجانب الأولي لمحولات الجهد والتيار. يتم وضع المنطقة الأولى على 80% من ممانعة الخط عن طريق إعدادات تقريبية ودقيقة على ممانعة مطابقة ZN. تستخدم مقسمات الجهد لإعداد المنطقة الثانية إلى 120% بشكل نموذجي والمنطقة الثالثة إلى ما بين 200% و 300% من ممانعة الخط. إذا حدث عطل في الخط، ضمن المنطقة الأولى، فإن ريليه الناقلية المستقطبة تعمل على تحرير القاطع الكهربائي، عند أول محطة تحويل بشكل

فوري. إذا كانت مسافتها ضمن منطقة المرحلة الثانية، فإن المنطقة الثانية تخرج، وتقوم الريليه المستقطبة بتحرير القاطع الكهربائي. إذا وقع العطل ضمن المنطقة الثالثة من الحماية، يتم تحرير القاطع الكهربائي لمحطة التحويل الأولى عندما يكمل المؤقت الزمني للمرحلة الثالثة عمله أو تشغيله.

16

التدفئة والتبريد

تسخين المياه

تتوفر أنظمة تسخين المياه للعقارات السكنية والتجارية والصناعية بعدة أشكال، ويتوقف اختيارها على عدد نقاط السحب وتوزعها، وفيما إذا كانت ستشارك في عملية التدفئة أم لا، وفي بعض الأحيان يتوقف اختيارها على طبيعة التغذية بالماء. يمكن اعتبار الكهرباء المصدر المناسب الوحيد للطاقة اللازمة لتسخين المياه وبشكل خاص لدى توفر إمكانية الحصول على امتيازات تسهيلات تعرفة الطاقة في غير أوقات الذروة. فالطاقة الكهربائية في المتناول وهي رخيصة، وتنفي الحاجة لتخزين أي نوع من أنواع الوقود أو بناء المداخن، وتستخدم تكاليف بسيطة، وتعمل ضمن مستويات كفاءة عالية.

لدى ظهور تأخر في تسخين الخزانات أو الأوعية إلى حد ما، تبرز أشكال أخرى من الوقود لتنافس الطاقة الكهربائية وبقوة، وبشكل خاص لنظام التسعيرة خارج أوقات الذروة.

هناك أنواع مختلفة من أجهزة تسخين المياه الكهربائية، ويتم تقرير النوع والتصميم الأفضل والأكثر ملاءمة لمجموعة من الظروف المحيطة بعد استشارة موردي الطاقة الكهربائية.

يتم دائماً غمر عنصر التسخين في الماء المزمع تسخينه، ولهذا السبب، فإن الانتقال الحراري سيكون دائماً 100% حتى إذا تمت تغطيته بقشور جافة.

من أجل استهلاك محدد من الماء الساخن، تعتمد كفاءة المنظومة على الضياعات الحرارية من أوعية التخزين وشبكة الأنابيب المرتبطة.

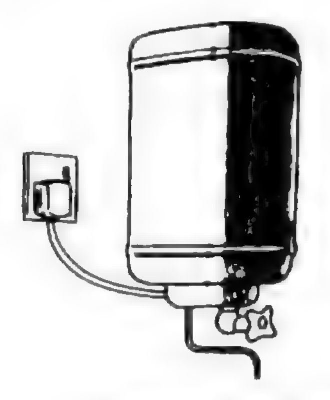
التعرفات Tariffs: في العديد من الحالات يمكن تنظيم الاستهلاك الكهربائي بحيث يتم الاستجرار خلال الفترات ذات التعرفات الرخيصة (أي خارج أوقات الذروة) والتي تكون عادة في الليل. إن هذا النظام هو الأكثر ملائمة لمثل هذه الأجهزة حيث يتم تخزين المياه في أوعية تأخير بكميات كبيرة. إحدى التعرفات العامة المعروفة باسم Economy 7 تسمح للمستثمر باستجرار الكهرباء وفق معدلين، نهاري وليلي وهو الأقل تكلفةً. يتم استجرار الكهرباء لمدة 8-7 ساعات في الفترة الممتدة من منتصف الليل وحتى السابعة أو الثامنة صباحاً وفق المعدل المنخفض، حيث تختلف فترات التسعيرة للمعدل الليلي الأرخص من مورد لآخر. يعرض هذا الفصل لاحقاً مرجلاً خاصاً تم تصميمه للاستفادة من هذه التعرفة (Economy 7) المعمول بها في بريطانيا.

أنواع مسخنات المياه: هناك نوعان أساسيان من مسخنات المياه: المضغوطة وغير المضغوطة. يتم التحكم بتدفق المياه في المسخنات غير المضغوطة (no-pressur) بواسطة صمام أو صنبور مركب على أنبوب الدخل، وبالتالي يمكن للماء المتمدد أن يفيض من خلال أنبوب الخرج لدى فتح الصمام أو الصنبور، كما يمكن وصل هذا النوع من المسخنات مباشرة إلى مصدر التغذية الرئيسي للماء.

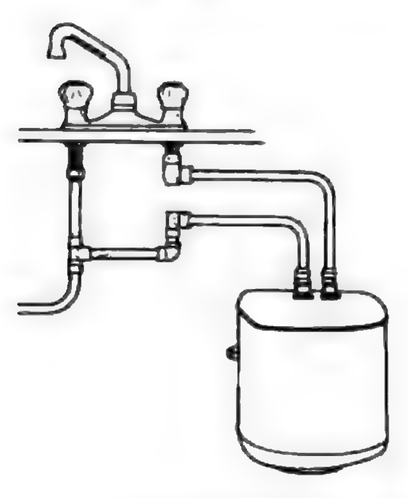
أما في نوع المسخنات المضغوطة (pressure type)، فتتم التغذية من خزان وفق الطرق الاعتيادية، مع الأخذ بعين الاعتبار عودة المياه المتمددة إلى خزان التغذية ذاك. وهنا يجب عدم وصل هذه النوعية من المسخنات مباشرةً إلى مصدر التغذية الرئيسي للماء، ويمكن تركيب صنابير موصلات المياه الساخنة بنفس الطريقة العادية لأنابيب السحب.

مسخنات المياه غير المضغوطة (Non-pressure water heaters): من أمثلة المسخنات غير المضغوطة تلك المركبة فوق المغاسل، وهي مجهزة بأنابيب مرنة قابلة للتدوير والتي كما هو مبين في الشكل (16.1). تتراوح القدرة التخزينية لهذه المسخنات بين 7 إلى 14 ليتراً،

وهي متوفرة بكلا الشكلين المستطيل والأسطواني وبألوان متنوعة وتتصل في بعض الأحيان مع مرآة. يمكن تركيب خزان المسخن تحت المغسلة فهو صغير ومن النوع غير المضغوط ومثقل بالرصاص ويجهز بصنابير مختارة بعناية لتناسب حوض المغسلة أو المصب المصمم للاستخدام معه وتقع السعات النظامية له في المجال 14-7 ليترا.

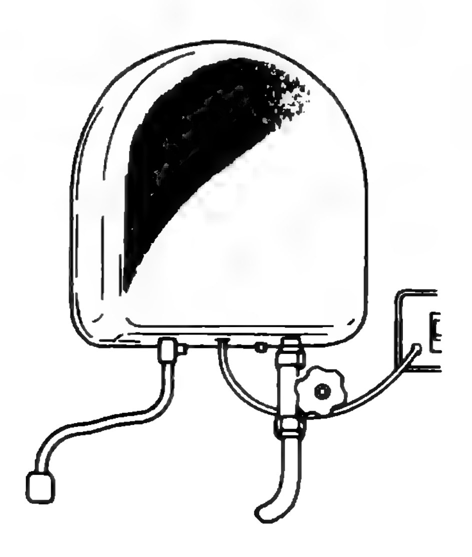


الشكل (16.1) خزان مسخن الماء فوق المغسلة



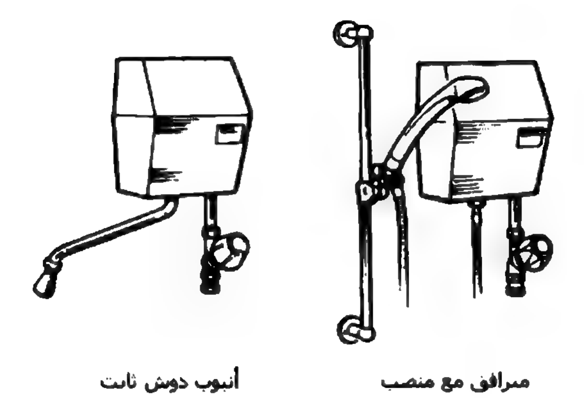
الشكل (16.2) خزان مسخن الماء تحت المغسلة

يتوفر هذا النوع بكلا الشكلين المستطيل والأسطواني، يمكن تمثيل الأنواع النموذجية للمسخنات تحت المصب أو حوض المغسلة في الشكل (16.2). يعتبر مسخن الماء الفوري ذو النوع الدفقي المتصل مع أنابيب مرنة، شكلاً آخراً للمسخنات التي تنتمي إلى الصنف غير المضغوط. وبشكل نموذجي يمكن لهذه المجموعة أن توفر حتى 0.23 l/min من ماء الغسيل وبدرجة حرارة تقترب من 43°C الشكل (16.3).



الشكل (16.3) مسخن ماء من نوع التدفق الآني

لدى استخدام أوعية أكبر مجهزة بعناصر تسخين ذات معدلات تفوق تلك المستخدمة في مسخنات الماء الفورية الصغيرة، يمكن توفير وحدة دوش آنية مستقلة متصلة مع فوهة رش قابلة للضبط مع محدد لكمية المياه المتدفقة، وقاطع حراري. يبين الشكل (16.4) وحدات نموذجية توفر مياه بدرجة حرارة تقارب 43°C وبمعدل تدفق 0.47-0.57 l/min.



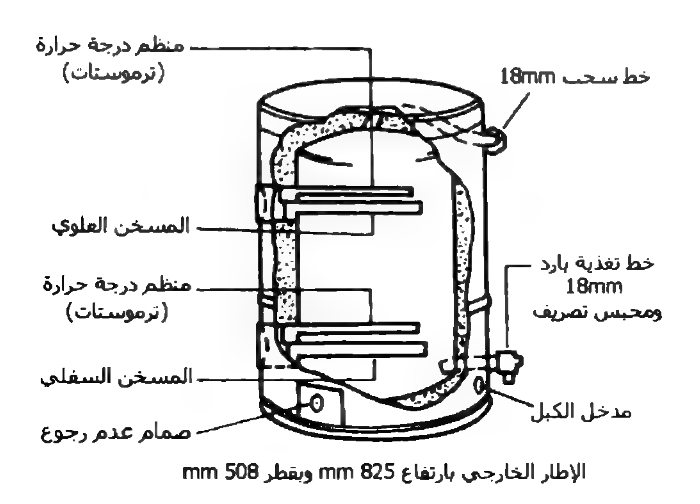
الشكل (16.4) وحدات دوش آنية

يتم ضبط درجة حرارة المخرج عادة عن طريق مقبض تحكم يقوم بتحديد معدل التدفق، وبالتالي يكون حمل الدوش بحدود 6 kW عند جهد 240 V ويقترب وزن هذه الوحدة من 3 kg.

نوع أحواض الضغط (pressure cistern types): يجب تركيب المسخنات من نوع الحوض فوق أعلى صنبور، وإلا فلن يتدفق الماء الساخن. كذلك يترك خلوص مقداره 200-300 mm أعلى الحوض للسماح بالوصول إلى الصمام الكروي لأغراض الصيانة، وباعتبار الخزان من النوع المضغوط فإنه يمكن وصل الصنابير أو الصمامات مع شبكة أنابيب السحب وكذلك وصل الحوض ذي الصمام الكروي مع المصدر الرئيسي للتغذية بالماء.

يوضح الشكل (16.5) أحد أكثر الأنواع المضغوطة انتشاراً واستخداماً في المنازل. حيث تمتاز هذه الوحدة بشكل رئيسي بكونها مجهزة بعنصري تسخين، أحدهما مركب أفقياً قرب القاع، والآخر مركب أفقياً أيضاً ولكن عند قمة الحوض. يحافظ عنصر التسخين العلوي على ما يقرب من 37 ليتراً من المياه الساخنة أعلى الخزان للاستعمال اليومي العادي، بينما يتم وصل عنصر التسخين الآخر عندما يقتضي الأمر الحصول على كميات أكبر من المياه الساخنة. والسعة الإجمالية النموذجية لهذا

النوع هي 180 ليتراً، وهناك تحكم بعنصري التسخين هذين بواسطة ترموستات. يمكن تخزين المسخن بالكامل تحت المغسلة (سطح مائل جانب المغسلة)، أو في جوار سطح العمل، أو في إحدى الزوايا. يجب تنفيس الأنابيب الواصلة إلى سوية الحوض العلوية، ويمكن توفير أكثر من مخرج للمياه الساخنة للاستعمال.



الشكل (16.5) مسخن 180 ليتر "اثنان بواحد"

تتوفر أيضاً معدات وتجهيزات قياسية لمسخنات المياه بسعات تخزينية عالية تنتمي للمجال 182-455 ليتر وحتى المسخنات الكبيرة يمكن تصنيعها للاستهلاك الفردي والضروري حيث يتم تجهيزها بعنصري تسخين مغمورين كما في الشكل (16.5) وتكون متصلة مع التغذية الكهربائية فيما عدا وقت الذروة أو نظام Economy 7 على سبيل المثال.

يمكن تجهيز مسخنات المياه الكبيرة بعدد من عناصر التسخين، يتم تهيئة عناصر الترموستات المتصلة إذا كان ذلك ضرورياً للعمل بأسلوب معد بشكل مسبق بحيث يؤمن التدرج الحراري المنتظم. عندما تزداد كمية المياه الساخنة المطلوبة بشكل

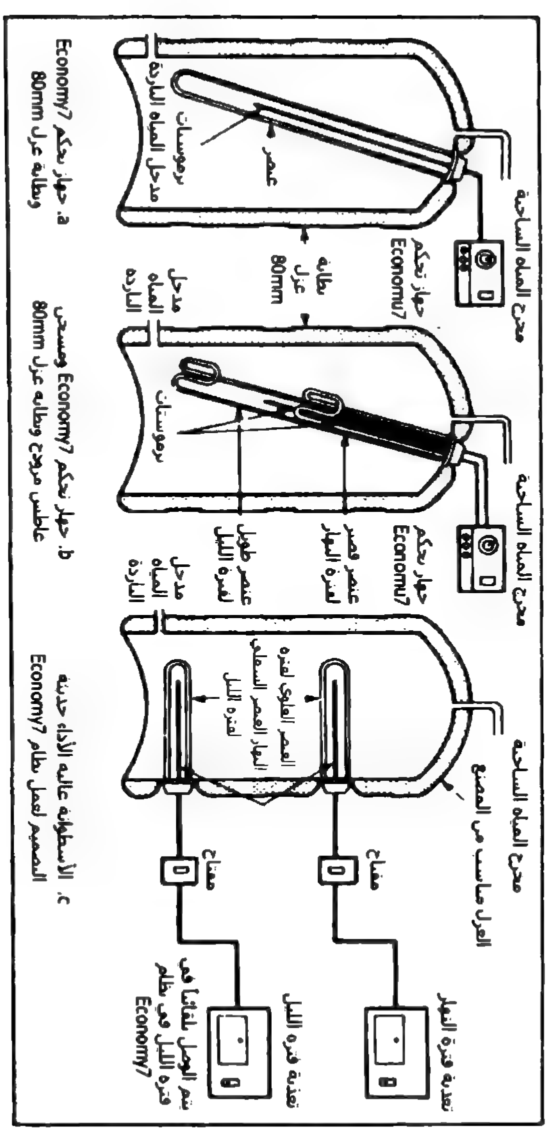
كبير، يفضل عندها تركيب عدد من المسخنات صغيرة الحجم بدلاً من عدد أقل من المسخنات الأكبر. يسمح هذا الإجراء باعتماد شبكة توصيلات أقل وكذلك صيانة أحد المسخنات دون التأثير على الأداء العام للنظام بشكل كبير. يمكن الحصول على منافع وإيجابيات التعرفة Economy 7 بإجراء التعديل الموضح تخطيطيا في الشكل (16.6).

هناك ثلاث طرق رئيسية للانتقال إلى النوع Economy 7 وهي تظهر تحسناً متصاعداً في كلفة التشغيل، هذه الطرق هي:

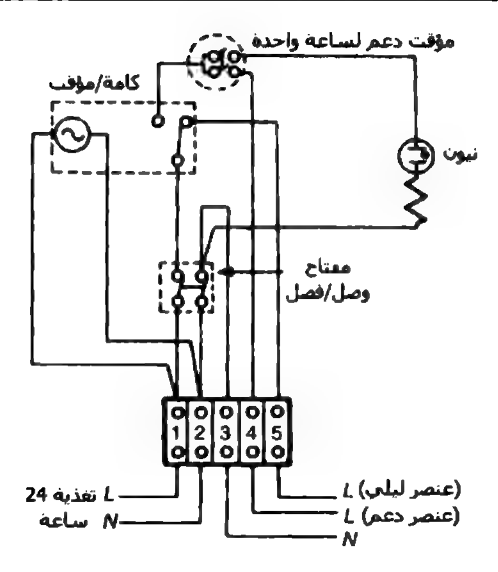
1. تركيب جهاز تحكم بالسخان من النوع Economy 7، أو الجهاز الداعم Economy 7 للتحكم بمسخن الغمر 685 mm الموجود، وإضافة غلاف عازل بعرض 80 mm لوعاء التخزين الموجود (الشكل 16.6a).
2. تركيب جهاز التحكم Economy 7 ومسخن غاطس مزدوج، وإضافة دثار عازل بطول 80 mm لوعاء التخزين الموجود (الشكل 16.6b).
3. تركيب أسطوانة Economy 7 الجديدة عالية الأداء (الشكل 16.6c).

ينتج العديد من المصنعين أجهزة Economy 7 للتحكم بتسخين المياه، ويعمل الجميع إلى حد ما بنفس طريقة العمل. حيث يتصل جهاز التحكم المبين في الشكل (16.7) مع منظومة توقيت ثابتة ومفتاح تحويل آلي. في هذه الطريقة يقوم جهاز التحكم بوصل المسخن الغاطس خلال الليل، بينما يستطيع المستثمر تشغيل المسخن الغاطس خلال النهار بواسطة مؤقت إلكتروني إضافي، حيث يمكن استهلاك المياه الساخنة.

أما بالنسبة للمسخن الغاطس المزدوج، فيقوم جهاز التحكم Economy 7 بتشغيل العنصر الطويل في الليل والقصير في النهار عن طريق مؤقت إضافي. مما يسمح لكميات المياه القليلة بأن تسخن بمعدل كلفة يومية أكبر من المسخن المفرد الموجود.



الشكل (16.6) تحويلات Economy 7



الشكل (16.7) مخطط الأسلاك الداخلي لجهاز التحكم بمسخن الماء Economy 7

يمتلك نموذجان مصنعان من جهاز التحكم Economy 7 مؤقت من الكوارتز مع بطارية قابلة لإعادة الشحن تدخر 100 hr كحد أدنى، ويتوقع لهذه الأجهزة الاعتماد عليها لزمن طويل دون إجراء عمليات المراقبة المعتادة.

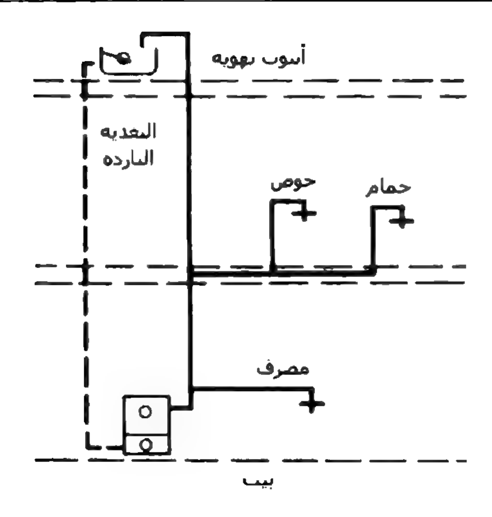
حيثما يطلب من المحدد التأكد من أن التغذية الكهربائية للمسخن الغاطس خلال الليل يتم التحكم بها زمنياً من خلال المفتاح الزمني لشركات التغذية الكهربائية، فإن جهاز التحكم Economy 7 الداعم هو البديل. في هذه الحالة، يتم وضع جهاز التحكم عادة في جوار لوحة التوزيع الكهربائية في المطبخ أو المدخل على سبيل المثال.

على الرغم من أن هذا التحكم موصول سلكياً مع دارة off-peak (عبر المفتاح الزمني لشركات التغذية الكهربائية) ومع خط التغذية على مدى 24 ساعة يتم التحكم بمسخن غاطس واحد، يتم تغذيته عادة من المصدر السابق. إذا دعت الحاجة لمقدار إضافي من الماء خلال اليوم، يقوم المستثمر بتشغيل مؤقت رجعي وللمدة اللازمة حيث يدعم المسخن الغاطس بالتسعيرة النهارية.

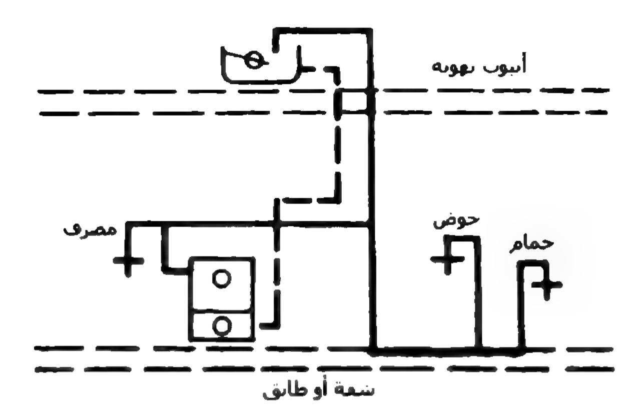
حيث يتم استبدال وعاء تخزين الماء الساخن، أو تركيب نظام في منزل جديد، يمكن استخدام وحدة تخزين ماء ساخن عالية الأداء كما هو مبين في الشكل (16.6c)، قد تأخذ شكل وحدة مجمعة أسطوانية أو مستطيلة الشكل. والأكثر انتشاراً هو استبدال الوعاء بأسطوانة جديدة يتم وضعها في الحوض الموجود. تتوفر ثلاث أحجام يمكن أن تفي بالغرض وهي: الأنواع BS7 (120 ليتر)، BS8 (144 ليتر)، BS9E (210 ليتر) هذه الأنواع تسمى صغيرة ومتوسطة وقياسية وذلك من أجل التبسيط. ويفضل حجم النوع 9E للعمل خارج أوقات الذروة.

تظهر الأشكال (16.8) و (16.9) و (16.10) الترتيبات النموذجية لشبكات أنابيب التمديدات والحوض والمآخذ لكل من المنازل والشقق. كما هو واضح، تتابع أنابيب سحب الماء الساخن باتجاه الأعلى لتدور فوق جانب خزان الصمام الكروي. عندما نرغب بتجنب الأنبوب الواحد، يكون ترتيب شبكة التمديدات مهماً للغاية. تقع ظاهرة جريان الأنبوب المفرد (Single-pipe circulation) في أي أنبوب يصعد بشكل شاقولي من وعاء تخزين الماء الساخن وذلك لأن الماء الساخن يكون على تماس مباشر مع الجدار الأبرد بقليل للأنبوب النازل والذي يتم استبداله بعمود داخلي من الماء الساخن الصاعد من وعاء التخزين. من السهل منع ذلك عن طريق تمرير حوالي 450 mm من أنبوب سحب أفقياً فور مغادرة قمة وعاء التخزين قبل أي أنبوب، كما تصعد أنابيب التهوية شاقولياً منه. الشكل (16.11) يبين كيفية التنفيذ.

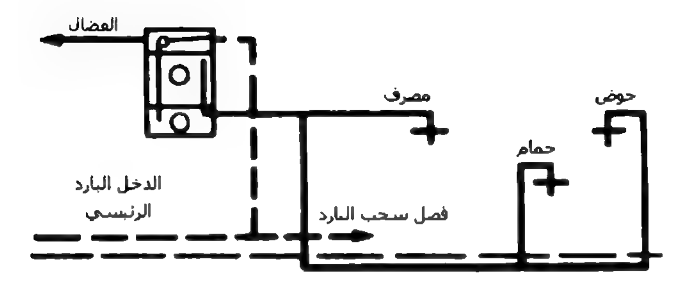
يمثل الشكل (16.10) مسخن ماء كهربائي من نوع الحوض المستقل والمصنع مع حوض تغذية إضافي يتم التحكم فيه عبر صمام كروي موجود فوق خزان الماء الساخن. وبهذا تستكمل منظومة تسخين الماء بحد ذاتها، وتبقى هناك حاجة فقط لوصلات تغذية الماء البارد وأنابيب سحب الماء الساخن والفضّال (overflow) والتغذية الكهربائية.



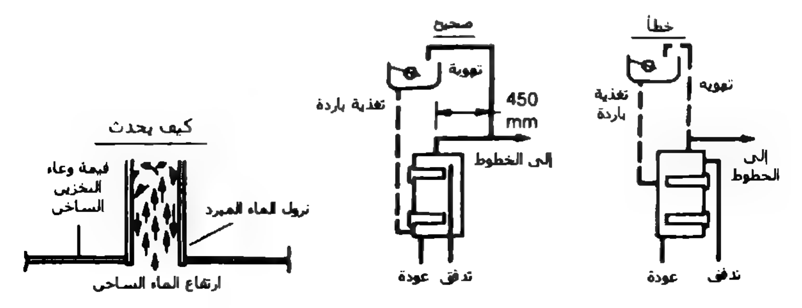
الشكل (16.8) استخدام مسخنات الماء الكهربائية من نوع عنصر الضغط المزدوج



الشكل (16.9) استخدام مسخنات الماء الكهربائية من نوع عنصر الضغط المزدوج

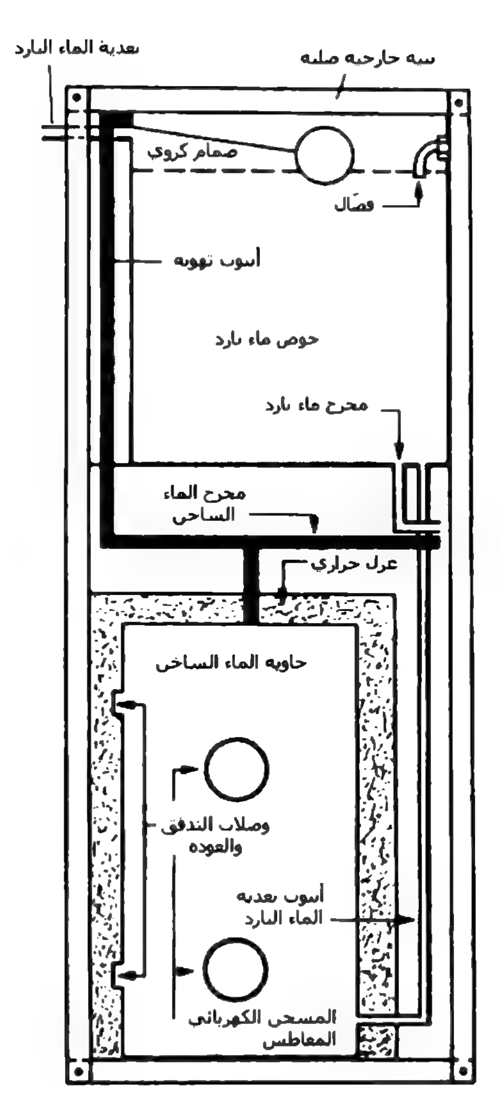


الشكل (16.10) استخدام مسخن الماء الكهربائي من نوع الحوض المستقل



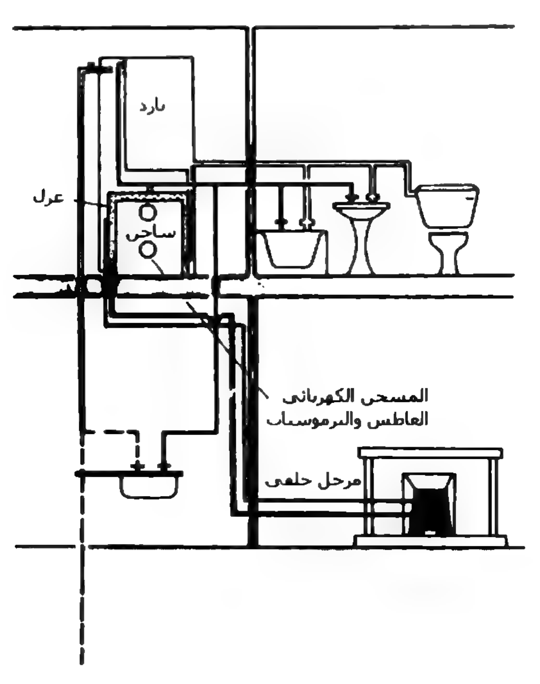
الشكل (16.11) الدورة أحادية الأنبوب

تصنع أنابيب المياه لهذه الوحدة بحيث تناسب تأمين الماء البارد والساخن للحمام والمغاسل والمطبخ ودورة المياه. حيث تشمل على حوض للماء البارد، وحاوية (container) للماء الساخن، وشبكة للأنابيب جميعها موجودة داخل هيكل صلب كما هو مبين في الشكل (16.12). والشكل (16.13) يبين طريقة التركيب عندما تقوم بتخديم طابقين. وكذلك يبين كيفية استعمالها عند اقترانها بمرجل العودة. يمكننا استخدام العديد من أنظمة الأحواض التي نوقشت أعلاه بالترافق مع مراجل فحم حجري.



الشكل (16.12) وحدة أنابيب المياه المتكاملة بأبعاد تقريبية: ارتفاع 1.98m، عرض 0.7m، وعمق 0.61m.

المسخن الغاطس (immersion heater): لا يمكن للمسخن الغاطس تسخين الماء الواقع أسفله بالتحديد، حيث يتم التسخين بالحمل الحراري وليس بالتوصيل الحراري إلا إذا كانت هناك عملية مزج تمت بالصدفة. يعتبر تركيب مسخن غاطس في خزان الماء الساخن الطريقة الأرخص لتحويل منظومة الماء الساخن غير الكهربائية إلى الطريقة الكهربائية.



الشكل (16.13) تركيبة تخدم طابقين وتظهر الوصلات المختلفة مع مرجل خلفي

يمكن لهذه الطريقة تعزيز أنظمة الوقود الصلب الموجودة بحيث يمكننا إطفاؤها خلال أشهر الصيف، مفسحة المجال للعناصر الكهربائية في توفير تسخين الماء المطلوب.

يقوم مسخن غاطس مركب بشكل أفقي عند سوية منخفضة بتسخين كل كمية الماء الموجودة فوقه إلى درجة حرارة نظامية. ولا يمكن تأمين كمية صغيرة من الماء بسرعة بواسطة هذه الطريقة، إذاً عندما يكون ذلك مطلوباً، يجري إضافة مسخن آخر بالقرب من قمة وعاء التخزين.

لا يمكن لمسخن مركب بشكل شاقولي تأمين خزان ماء مسخن بكامله إلى حرارة منتظمة. حيث يتشكل تدرج حراري يمتد من السخونة عند القمة إلى البرودة عند القاع. ولدى استعمال مسخن غاطس شاقولي التركيب، فيجب أن يكون بطول كاف ليصل لمسافة تتراوح بين 50 إلى 75 ملم من مدخل الماء البارد. الحل الوسط يكمن في التركيبة الوسط وهي التركيبة التي يتم فيها مضاعفة التسخين، وهي تشتمل على عنصرين الأول قصير والثاني بالطول الكامل لكل منهما نتوء وترموستات ويتشابكان لتأمين الخيار البديل.

يوجد نوعان أساسيان للمسخن الغاطس: القابل وغير القابل للسحب. يبنى النوع القابل للسحب بحيث يمكن سحب عنصر التسخين من الغلاف المحيط دون حدوث اضطراب أو كسر وصلة الماء. يستخدم هذا النوع في المقام الأول في الصناعة. أما في النوع غير القابل للسحب فمن غير الممكن سحب عنصر التسخين دون كسر لوصلة الماء.

حساب الطاقة اللازمة لتسخين الماء: تعتبر مسألة حساب كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء إلى عدد محدد من الدرجات المئوية مسألة بسيطة نسبياً:

$$\text{الطاقة (kWh)} = \frac{\text{°C الارتفاع في درجة الحرارة} \times kg \times k}{\text{المردود}}$$

إذاً نحتاج إلى 4180 J لرفع درجة حرارة 1 kg من الماء درجة مئوية واحدة.

$1kWh = 3.6\times10^{6} J$ و $4180J = 1kcal$

مثال تطبيقي عن كيفية حساب الطاقة

يقوم مسخن كهربائي برفع درجة حرارة 10 kg من الماء من 15°C حتى الغليان. يستخدم 75% فقط من الطاقة المسحوبة في تسخين الماء، والقسم الباقي يضيع بسبب الإشعاع. احسب الطاقة الممتصة للتسخين.

محتوى الطاقة الحرارية للماء	$10\times(100-15)=850$ kcal
الطاقة المسحوبة	$=850/0.75=1133$ kcal
الطاقة بالجول	$1133\times4180=4.75\times10^6$ J
الطاقة بواحدة kWh	$=\dfrac{4.75\times10^6}{3.6\times10^6}=1.32$ kWh

من العلاقات أعلاه، يمكننا، وبسهولة اشتقاق كل الكميات الأخرى ذات الصلة، ويجب ملاحظة أن k في العلاقات أعلاه تمثل $4180/3.6\times10^6$.

$$\text{المردود أو الفعالية} = \frac{4180 \times \text{kg} \times \text{الارتفاع في درجة الحرارة } ^\circ\text{C}}{\text{kWh} \times 3.6 \times 10^6}$$

إذا دعت الحاجة لمعرفة الزمن المستهلك مقدراً بالساعات، لرفع درجة حرارة كمية محددة من الماء إلى درجة حرارة معينة، فالعلاقة المناسبة ستكون:

$$\text{الزمن بالساعات} = \frac{4180 \times \text{kg} \times \text{ارتفاع درجة الحرارة } ^\circ\text{C}}{\text{الحمل بـ kW} \times 3.6\times10^6 \times \text{المردود}}$$

تسخين الجو

يمكن تصنيف أنظمة تسخين الجو إلى أنظمة تخزينية أو أنظمة بالتأثير المباشر. تعمل الأنظمة التخزينية على التغذية ذات الكلف المنخفضة خارج أوقات الذروة، ويمكن تصميمها للاستفادة من جميع الخصائص الإيجابية للتخزين الحراري للمبنى ومحتوياته. أما أنظمة التأثير المباشر والتي تستعمل الكهرباء بالمعدلات النهارية،

فتمتاز بالاستجابة الآنية للتغيرات الحرارية والبرمجة المتقطعة. يمكن استخدام كلا النظامين بشكل مستقل، أو يمكن أن يكمل أحدهما الآخر. سيحوز التسخين التخزيني في فترة الشتاء على ما يقارب 90% من الكهرباء المستهلكة من قبل التركيبة المشتركة للنظامين.

المسخن التخزيني: تعمل المسخنات التخزينية بمبدأ الاحتفاظ بالحرارة المكتسبة في فترات خارج الذروة (عادةً في الليل)، وإطلاقها في وقت لاحق، أي أثناء النهار عندما تكون التغذية منفصلة عنها. تملأ المسخنات التخزينية بمواد ماصة للحرارة، وتبنى بحيث يستمر الإصدار الحراري وبشكل تدريجي خلال 24 ساعة.

الأصناف الأساسية للأنظمة العاملة خارج أوقات الذروة هي المسخنات التخزينية ذات المروحة، Electricair، المرجل Electric 7، أوعية تخزين الماء الساخن الحرارية مع المشعات، والتسخين الأرضي (عبر شبكة تمديدات كهربائية أرضية).

المشعات التخزينية: يتألف المشع التخزيني الكهربائي من عنصر تسخين متوضع في القلب المخزن، والمحاط بطبقة من مادة عازلة، الكل متوضع ضمن صندوق معدني. يقوم عنصر التسخين بالتبديل التلقائي خلال ساعات خارج أوقات الذروة، ويحتفظ بحرارته في المادة المحيطة بالمخزن ويقوم بطرحها من خلال الطبقة العازلة على مدى 24 ساعة. يمكن إنجاز التحكم عن طريق تركيبة من أجهزة التحكم بالشحن، أجهزة التحكم الخارجية، والمؤقتات الزمنية المبرمجة. يبقى الصندوق الخارجي ساخناً في ظل الظروف والأوضاع المثالية أثناء فترات الشحن والتفريغ.

يعرف معدل المشع التخزيني على أنه الدخل (بالكيلواط) والذي يتم سحبه من قبل عنصر التسخين، وهو من رتبة 2-2.625 أو 3.375 كيلواط.

يعرف قبول الحمل (charge acceptance) بأنه كمية الحرارة التي يمكن للمشع امتصاصها وإصدارها وتقاس بواحدة kWh.

نسبة القبول (acceptance ratio) هي نسبة الشحنة الفعلية المقبولة إلى الشحنة العظمى. تملك معظم المشعات التجارية نسبة قبول من رتبة 83%. وكلما اقترب هذا الرقم من الواحد كلما كان المشع اقتصادياً أكثر.

السعة التخزينية الصافية (net storage capacity) هي كمية الحرارة المحتجزة داخل المشع التخزيني عندما تتم عملية الشحن الكلية خلال فترة 8 ساعات.

عامل الاحتباس (retention factor) هو نسبة السعة التخزينية الصافية إلى الشحنة المقبولة خلال 8 ساعات. وهذا الرقم لمشع تخزيني متوسط يقترب من 66%.

هناك طريقتان للحصول على خرج محسن من المشع التخزيني. الأولى تقوم على دمج مخمّد خاضع للتحكم عبر شريط ثنائي المعدن يسمح باستخراج الحرارة من قلب المشع مباشرةً بالحمل الحراري في الفترة المتأخرة من بعد الظهر، والمشعات التي تمثل هذه الطريقة تعرف بالنماذج المخمّدة damper. أما الطريقة الثانية فتقوم على استعمال مروحة لتحريك الهواء المحصور بين القلب وداخل اللوح الأمامي والتي تحتاج لمصدر تغذية كهربائية منفصل.

المسخنات التخزينية ذات المروحة: وهي تشابه من حيث المبدأ المشعات التخزينية فيما عدا امتلاكها لعزل حراري أكبر، بالإضافة لإمكانية دمج مروحة لتفريغ الهواء الدافئ في الغرفة حسب الحاجة. تنطلق من المسخن كمية قليلة من الحرارة على فترات، وهذا كفيل باستمرار تدفئة الغرفة إلى حد معقول.

تسخر هذه المسخنات نفسها للتحكم الزمني وبدرجة الحرارة، وبالتالي يمكن أن تكتسب الغرف الحرارة المرغوبة بسرعة ويمكن الحفاظ على درجات حرارة ثابتة فيها.

منظومة Electricair: تتكون منظومة Electricair مبدئياً من وحدة تسخين مركزية تؤمن تغذية الغرف بالهواء عبر مجاري مركبة. وهي منظومة آلية بشكل كامل، حيث يعتمد زمن تبديل التغذية الكهربائية فيها على فترة تغذية القلب بالطاقة وترموستات القلب للتحكم بكمية الهواء.

يتم سحب الهواء من الوحدة إلى المجاري المعزولة عبر مروحة تعطي الهواء الدافئ سرعة تصل إلى $7m^3/min$. تتغذى المروحة من مصدر تغذية غير محدد ويتم التحكم بها بواسطة ترموستات جدارية (مركبة على الجدار)، حيث يحدد موقع الترموستات مدى نجاح عمل المنظومة.

تتوفر لهذه الأنظمة سعات تخزينية تصل إلى 3.7×10^7 J يومياً، وتمتلك معظم النماذج معدات تحسين تسمح بتمرير خرج أعلى خلال فترات زمنية أقصر مثل 20 min أو ما شابه.

يتشكل قلب منظومة Electricair من عدد من العناصر الملفوفة بشكل لولبي بمعدل تغذية 1 kW المستخدمة لتسخين الكتل التخزينية المصنعة من حديد الصب أو المواد المكررة والمعزولة لمنع الضياعات الحرارية من الحجرة. تقوم ترموستات ذات ضبط يدوي ودرجة حرارة تحكم عالية بالتحكم بشحن القلب. يتم المحافظة على درجة حرارة خرج الوحدة أوتوماتيكياً بواسطة منظم يقوم بمزج الكمية الصحيحة من الهواء البارد والساخن من المخزن الذي يبدأ منه توزيع المجاري. لا تحتاج النماذج ذات التحكم الآلي الكلي إلى المراقبة من قبل المستثمر.

هناك ثلاثة تصاميم أساسية لعمل مجاري المنظومة Electricair وهي المجاري المبتورة (stub-duct) والقطرية (radial-duct) والحيز الممتلئ الموسع (extended plenum). في المجاري المبتورة يتم تركيب وحدة Electricair عادةً في موضع مركزي ويجري نقل الحرارة إلى الغرف عبر مجاري صغيرة. في بعض الأحيان قد تمتد هذه المجاري إلى الغرف العلوية، لكن ذلك غير ضروري للحمل الطبيعي للهواء غالباً.

أما مع أنظمة المجاري القطرية فيتم ضخ الهواء الساخن من الحجرة الممتلئة عبر عدد من المجاري القطرية إلى مقاطع الخرج. يأتي القسم الصاعد لهذا النوع من الأنظمة مباشرةً من الحجرة الممتلئة والتي تسمح بتوزيع الهواء إلى عدد من الغرف في الأبنية ذات التصميم المعقد أو التي تضم عدداً أكبر من الغرف. يمكن اتخاذ القسم الصاعد من نقطة ما من الحيز لتخديم الطوابق العلوية.

يتراوح حمل دخل وحدات Electricair من 6 إلى 15 kW. يعتبر المسخن مستنزفاً أو متعباً (exhausted) عند انخفاض درجة حرارة الهواء الصادر عنه إلى حدود 43°C، وعند هذه النقطة تستمر كمية مفيدة من الحرارة بالتواجد في القلب، ويمكننا تمديد العمر الفعلي لهذا النظام بجعل أحد عناصر التأثير المباشر يقوم بإكمال خرج القلب (أي تعويض الفاقد). يتوضع عنصر التأثير المباشر عبر الهواء المتدفق قبل دخوله

الحيز، ويمكنه التبديل الأوتوماتيكي عن طريق مراقبة درجة حرارة هواء المخرج أو درجة حرارة القلب.

المرجل Economy 7: تعد مشعات الماء الساخن من الوسائط المألوفة لتدفئة المنازل ومنذ فترة طويلة. إحدى الطرق المحتملة لرفع درجة حرارة الماء تتم بالاستعانة بمرجل كهربائي مصمم خصيصاً للاستعمال في ظل التسعيرة الليلية الرخيصة Economy 7. يمكن تسخين معظم مياه التدفئة بالمشعات بتكلفة مخفضة أثناء الليل وتخزينها في مرجل كهربائي معزول بشكل جيد (الشكل 16.6).

عند بروز الحاجة للماء الساخن، تقوم ترموستات مركبة في الغرفة بالتحكم بمضخة التسخين المركزية والتي تقودها بالقرب من المشعات. يمكن للمسخنات الكائنة أعلى المرجل تقديم دعم إضافي في النهار أو في فترات اشتداد أو امتداد برودة الطقس.

يتواجد المرجل في أغلب الأحيان في الأمكنة المحمية من عوامل الطقس، مثل المرآب، الأبنية الصغيرة التابعة للمنزل، بيت زجاجي أو المطبخ. ولا يحتاج المرجل إلى مدخنة، ويحتاج إلى صيانة طفيفة بشكل سنوي. يعتمد حجم المرجل على متطلبات المنزل وعلى مستوى العزل. فالمرجل القياسي ذو السعة 680 lit بحجم يعادل 710x812x2134 mm يناسب منزلاً مستقلاً معزول جيداً بمساحة 90 m^2 . يمكن أن تستخدم المنازل ذات الأحجام الأعلى وحدتين قياسيتين، أو وحدة مصممة خصيصاً لتناسب المساحة المتوفرة.

التدفئة الأرضية Floor warming: تستخدم أنظمة التدفئة الأرضية عناصر تسخين مثبتة مباشرة في الأرضية البيتونية. معظم التركيبات هي من النوع المثبت. يكون الإنفاق الرئيسي لهذه الأنظمة منخفضاً إذا ما قورن مع الأشكال الأخرى من أنظمة التسخين ويمكنه العمل وفق تسعيرة Economy 7.

من حيث المبدأ، تعتبر الأرضية وسيلة إشعاع ذات درجة حرارة منخفضة، وتؤمن الأرضيات البيتونية وسطاً مناسباً للتخزين الحراري، والتي قد تكون من أنواع مواد البناء الآتية: أوعية مجوفة، جوائز بيتونية مجوفة، ألواح مسبقة الإجهاد وبيتون مدعم. وتعتبر مسألة تركيب الحواف والسطوح السفلية للأرضية من المسائل

الجوهرية. أما عناصر التدفئة الأرضية فهي عبارة عن نواقل قد تصنع من الكروم، أو الحديد، أو الألمنيوم، أو النحاس، أو السيليكون، أو خلائط المنغنيز. كما يمكن للمواد العازلة أن تكون من الأسبستوس، أو المواد غير العضوية، أو PVC، أو البوتيل Butyl، أو مطاط السيليكون، أو النايلون. صممت هذه التركيبات في المملكة المتحدة لتوفر درجة حرارة متوسطة لسطح الأرضية مقدارها 24°C. عند التركيب، يجب ترتيب العناصر، قدر المستطاع، بشكل يؤمن تغطية كامل مساحة الأرضية، وبشكل عام يقع الحمل بين $100\ W/m^2$ و $150\ W/m^2$. لهذا السبب يجب اختيار العناصر بحيث لا تتجاوز المسافة بين العناصر المتجاورة مسافة 100 mm أو أقل من عمق دليل الأرضية، وذلك لتفادي تقلبات درجة الحرارة على سطح الأرضية. تتغير كثافة عناصر التسخين تبعاً للموقع، بحيث يرتفع عدد العناصر المستخدمة قرب الجدران الخارجية، وعلى العكس من ذلك يمكن تقسيم مساحة الأرضية إلى مناطق يتم التحكم حرارياً بكل منها على حدة.

يمكن بهذا الأسلوب أيضاً خدمة بعض المساحات الخارجية الخاصة التي قد تشمل منصات المواقف العامة للسيارات، مدارج الطائرات ومنصات ممرات المشاة.

أنظمة العمل المباشر (direct acting systems): يتوفر مجال واسع من مسخنات العمل المباشر كالنار المتقدة، أجهزة التدفئة بالهواء الساخن، المشعات/أجهزة التدفئة بالهواء الساخن، ألواح التسخين، مراوح التسخين المنزلية، وحدات التسخين الصناعية ووحدات التسخين والإضاءة المدمجة. في أنظمة تسخين السقوف الإضافية، نظام لوحة موسعة، هذه الأنظمة تستحق أن يتم ذكرها بشكل منفصل وهي كلها موصوفة في الفقرات اللاحقة.

تدفئة السقف (ceiling heating): يمكن تأمين تدفئة السقف عبر ألواح مسبقة الصنع أو مركبة كوحدات متكاملة. يتم في الحالة الأخيرة تركيب عناصر التسخين بأسلوب مماثل لذاك المتبع في تسخين الأرضية مع مراعاة تثبيت شبكة أسلاك عناصر التسخين على الجانب السفلي من السقف قبل بناء رقعة السقف.

السعة الحرارية المنخفضة لتركيبة تدفئة السقف تمكنها من الاستجابة بسرعة أعلى للتحكم الترموستاتي أو الزمني مقارنة مع نظام التخزين الحراري. ويتم التحكم بتركيبة كل غرفة على حدة بتأمين الاستجابة السريعة لتغيرات الحرارة الداخلية الناتجة عن الكسب الشمسي أو الكسب الحراري الناتج عن الإضاءة أو عن شاغلي الغرفة. بما أن التوفير محتمل في هذه الطريقة، يمكن لهذه المنظومة أن تكون منافسة بالرغم من استجرارها للكهرباء في أوقات الذروة. تقع درجات حرارة السطح السفلي للسقف في المجال °C 21~18 ويكون الإصدار الحراري بحدود $3.6\sim4.3\ W/m^2$ deg C.

المسخنات المشعة (radiant heaters): هناك تنوع كبير من المسخنات المنزلية المشعة التي تتوزع في المجال 740 W للمواقد النارية حتى 3kW لقضبان التسخين المتعددة التي يتم التحكم بها بشكل مستقل. غالباً ما يتم تزويد المواقد بوسائل الحمل وتعطى تصاميم وديكورات للحصول على مواقد جذابة وجميلة، وهي قابلة للحركة وذات استجابة فورية.

مسخنات الأمواج تحت الحمراء (infrared heaters): تتألف هذه المسخنات من عنصر منير مغلف، أو عنصر حلزوني من النيكل والكروم ضمن أنبوب من زجاج السيلكا مركب أمام عاكس صقيل. تتنوع الحمولات في المجال 1~4 kW ويمكن الحصول على الراحة بتركيبها على ارتفاع ينتمي للمجال 6~7.5 m. صممت هذه المسخنات للتسخين المحلي في المساحات الكبيرة. تناسب النماذج ذات المعدل الأصغر 500~750 W الحمامات. ويمكن لهذه أن تندمج مع مصباح كهربائي لتشكل وحدة تسخين وإنارة.

مشعات الملء بالزيت (oil-filled radiators): تشابه هذه المشعات في مظهرها إلى حد كبير مشعات الفولاذ المكبوس التقليدية لتسخين الماء. وتجهز بعناصر تسخين تقدم حمل ضمن المجال 500 W~2 kW. وتكون حرة الحركة أو تركب على الجدار، وهي مزودة بترموستات تحكم.

تسخن هذه المشعات ببطء أكثر من ألواح الحمل أو الإشعاع الحراري، وتحتفظ بالحرارة لفترات أطول بعد فصلها عن الخدمة. ويمكن، عن طريق ترموستات

التحكم، تجنب التأرجح السريع في درجات الحرارة. تقترب درجة الحرارة السطحية لهذه المسخنات من 70°C وهي مشابهة لمشعات الماء الساخن.

المسخنات الأنبوبية (tubular heaters): وهي ذات درجة حرارة هي الأخفض نسبياً بين المسخنات، وتستعمل لاستكمال التسخين الرئيسي في المبنى. يصنع المسخن من أنابيب مصمتة مسحوبة من الألمنيوم أو الفولاذ الطري بقطر خارجي يقارب 50 mm وطول متغير يبدأ من 305 mm ويصل حتى 4575 mm. يتم إغلاق إحدى نهايتي الأنبوب ويزود بتحويف طرفي في النهاية الأخرى. أما معدلات الاستطاعة لها فهي تتراوح بين 200 و 260 W لكل متر، ودرجة حرارة سطح الأنبوب تكون من رتبة 88°C وهي أعلى بقليل منها لمشع الماء الساخن ذي الضغط المنخفض.

مسخنات الإزار (skirting heaters): هذه المسخنات هي شكل محسن للمسخنات الأنبوبية، لكنها تشابه في شكلها الحافة التقليدية. يتغير حملها بشكل كبير من 80 وحتى 500 W لكل متر.

مسخنات الحمل ومسخنات الحمل/الإشعاع (convectors & convector/radiant heater)

يمكن لمسخنات الحمل الحراري أن تكون حرة الحركة، أو مركبة على جدار، أو مضمنة فيه. وهي مكونة بشكل أساسي من عنصر تسخين سلكي غير مشع ذي درجة حرارة متدنية موجود ضمن حاوية معدنية. يتم عزل هذا العنصر حرارياً وكهربائياً بحيث تتحول كل الحرارة المشعة إلى هواء دافئ. يدخل الهواء البارد من أسفل القاعدة ليطرد الهواء الساخن باتجاه الأعلى عند درجة حرارة بين 82°C و 93°C وبسرعة تقارب 55 m/min. ويزود عادةً بتحكم ترموستاتي متكامل.

تضم مسخنات الحمل والإشعاع الحراري المختلطة بالإضافة إلى عنصر الحمل عنصراً آخر للإشعاع من نوع أنبوب السيلكا. تمتلك بعض النماذج ثلاث أنابيب سيلكا 1 kW ترتبط معاً بمعدل حرارة من مسخن الحمل الحراري. يسمح التحكم بهذا النوع من المسخنات بالحصول على الحرارة من الحمل والإشعاع وذلك بهدف تلبية مجال واسع من المتطلبات. تزود هذه الوحدات عادةً بتحكم ترموستاتي متكامل.

من أجل التشغيل التوفيري (الاقتصادي)، بشكل خاص عندما تشتمل ألواح الحمل أو الحمل والإشعاع معاً على مخطط للتحكم بالحرارة، يمكن تنفيذ هذا التحكم بواسطة ترموستات بمقاومة حرارية متكاملة أو بترموستات مركبة على الجدار للتحكم بالهواء عن بعد.

المسخنات المروحية (fan heaters): تعمل هذه المسخنات بنفس مبدأ عمل المسخنات الحرارية بالحمل، بالإضافة إلى استعمال مروحة لتدوير أو تحريك الهواء الدافئ. تتوفر أصناف منزلية بحمل يصل إلى 3 kW. غالباً ما تركب المروحة بشكل مباشر على محور محرك صغير ذي سرعتين وذات شفرات مماسية بهدف المحافظة على الضجيج ضمن مستويات الحدود المقبولة. وهي حرة الحركة بالنسبة للاستعمالات المنزلية، ويمكن أن تكون صغيرة الحجم 380×150×100 mm.

هناك تصميم آخر للمسخنات المروحية ذو عناصر لتسخين كلاً من الهواء/الماء والتسخين الكهربائي المباشر. واستخدامه مناسب لكافة أنظمة التسخين التي تستعمل الماء كوسيط تسخين. يمكن استخدام عنصر التأثير المباشر لتقديم تسخين إضافي للمصدر المركزي أو حتى المستقل إذا دعت الضرورة.

الوفر في عملية تسخين الهواء كهربائياً: أظهـــرت المحاولات التي قادتـــها شركـــة Yorkshire Electricity Board في الثمانينات أن نظام التسخين المركزي بالمراجل الكهربائية قد يكون اقتصادياً أكثر بالمقارنة مع أنواع الوقود السائل أو الصلب. مع أن الكلف النسبية لأنواع الوقود الرئيسية تميل للتغير بسرعة وبشكل دوري خلال عدد من الفترات السنوية، لذا تم في العام 2002 الإقرار، حتى بعدم وجود ضياعات طاقة عبر المجاري الخانقة ووسائل تهوية المراجل بصعوبة اعتبار التسخين الكهربائي اقتصادياً. الاستثناء الوحيد لذلك كان من أجل الشقق الصغيرة إلى حد ما، حيث نصطدم بصعوبة توفير خدمات التزود بالوقود وتأمين منافذ لمخارج الغازات. وحتى لمثل هذه الحالة، فإن وفر الطاقة للشقق أو البلوكات السكنية الصغيرة سيكون مشجعاً فقط للأنظمة الشائعة التي تستخدم بعض أنواع الوقود الأخرى.

بشكل عام، تكمن إيجابيات جميع أنواع مسخنات الهواء الكهربائية الواردة آنفاً في سهولة تركيبها من جهة وتواضع كلفة رأس المال من جهة أخرى، بدلاً من اعتبارها كمصادر اقتصادية في استهلاك الطاقة.

التحكم الترموستاتي بالحرارة

تستعمل المفاتيح الترموستاتية على نطاق واسع للتحكم أوتوماتيكياً بالحرارة أو لتسخين الماء أو الهواء. وتعمل عادةً بمبدأ المعدن الثنائي وفيه يسبب التمدد غير المتساوي للمعدنين انحرافاً يتم توظيفه كمفتاح أو مبدل.

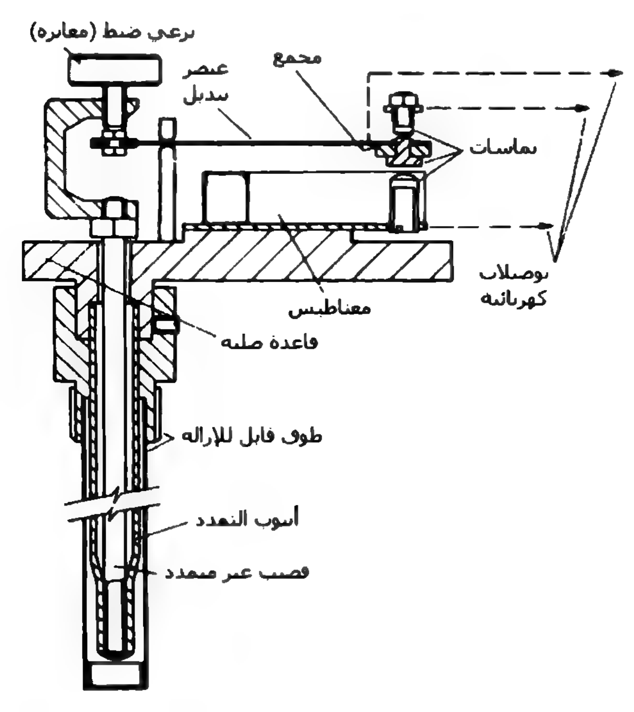
ترموستات الغرفة (room thermostat): صممت ترموستات الغرفة TLM من إنتاج شركة Satchwell Sunvic لدارات التيار الكبيرة حتى 20 A المناسبة لتبديل الحمل الحراري مباشرةً. لذلك تعتبر ملائمة للتحكم بدرجة حرارة الهواء. يمكن التحكم بالمسخنات والصمامات ومحركات القيادة وتجهيزات التسخين والتبريد الأخرى بشكل مماثل ومبسط. تعتبر الترموستات عنصر تحكم فصل/وصل، حيث يتم إغلاق الدارة لدى انخفاض الحرارة.

يمكن لأصناف أخرى تنتمي لهذا النطاق أن تكون مزودة بتماسات تحويل للتحكم بالصمامات المزودة بمحرك أو لتطبيقات التأثير العكسي. بسبب صمودها أمام الأجواء القاسية، يمكن اعتبار الترموستات مناسبة للاستخدامات الخارجية.

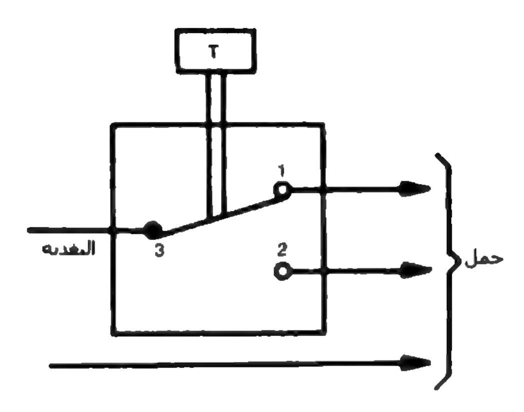
تقوم آلية التبديل للترموستات TLM على ضغط تماس علوي حتى لحظة الفتح، إذاً حتى مع حمل 20 A فإن التسخين الذاتي يختزل إلى الحدود الدنيا. ويمكن دمج مسرع تسخين ضمن التصميم، وبهذا من المتوقع ارتفاع حرارة الجهاز لدى طلب الحرارة. يمكن التخلص من التجاوز الطفيف لضمان معالجة دقيقة لدرجة حرارة الغرفة.

الترموستات الغاطسة (immersion thermostat): يبين الشكل (16.14) النموذج W من الترموستات الغاطسة من نوع الساق والمنتجة من قبل شركة Satchwell Sunvic. وقد صممت للتحكم بدرجة حرارة أجهزة تسخين الماء والعمليات الصناعية ومسخنات الزيت. تصنع الساق الحساسة للحرارة من النحاس الأصفر المقوى

بالألمنيوم، ومن النيكل–الحديد، ويستغل فرق التمدد الناجم عن المعدنين في تشغيل مفتاح ذي فجوة إلكترونية. تؤخذ الأطوال المختلفة للساق استناداً إلى المجال الحراري والحساسية المرغوبة. وقد تم إقحام تماسات مفتاح كبيرة للحصول على حياة أطول خالية من المشاكل، وكذلك يتم تغليف آلية المفتاح بغطاء من الفينوليك مسبوك لتجنب الأوساخ. تقوم التماسات 1 و 3 في الشكل (16.15) بقطع الدارة لدى ارتفاع الحرارة، أما التماسات 2 و 3 فتعمل لدى ارتفاع الحرارة.



الشكل (16.14) ترموستات من النوع W الغاطس



الشكل (16.15) مخطط توصيل للترموستات المبينة في الشكل (16.14)

يمكن الحصول على تنوع في تقنيات العمل من خلال عدد من التعديلات المتاحة على التصميم القياسي. كما يمكن إضافة أداة الإعداد اليدوي التي تكفل استمرار العمل في حال تعطل إحدى دارات التحكم الترموستاتية (التماسات 1 و 3)، حيث لا يمكن إعادتها للعمل إلا بعد إعداد الترموستات يدوياً من جديد عبر أزرار قريبة من كتلة التحكم. تسمح هذه الإمكانية باستخدام الترموستات كأداة تحكم عالية الحدود وبشكل آمن جداً، كما يمكن استعمال التماسات 2 و 3 لتشغيل إنذار تحذيري عند الضرورة.

تركيب الترموستات: يجب توضيع الترموستات في موقع نموذجي ضمن الحيز المراد التحكم فيه، حيث من المفروض أن تتأثر بتغيرات الحرارة بشكل سريع. عند استخدامها للتحكم في دخل نظام التسخين التخزيني، فإن المسرع يجب أن يبقى منفصلاً.

عند طلب الترموستات، يجب تزويد المنتج بمعلومات كافية عن المنشأة المراد استخدامها فيها، وبشكل خاص التحكم الحراري والتباين المطلوب، أي الفارق بين نقاط الفصل والوصل.

الطباخات الكهربائية

تزود الطباخات الكهربائية الحديثة عادةً بفرن وشواية وبأربع حلقات تسخين. بالإضافة إلى الأنواع التقليدية، هناك طباخات من نوع "العرض المزدوج Double-width" ومن نوع "المستوى المتزلق Split-level" والنوع الأخير هو الذي يضم شواية مركبة على مستوى العين. تكون الحلقات بشكل عام من النمط المشع، وتتألف من أنبوب لولبي منبسط مع عنصر التسخين مثبت بداخله، وتتواجد الحلقات المزدوجة في القسم المركزي الذي يمكن التحكم فيه بشكل مستقل عن القسم الخارجي، كما يمكن، بأسلوب آخر، التعامل مع كافة الحلقات ككيان واحد.

هناك الحلقة القرصية أو الصفيحية والتي تتكون من صفيحة معدنية مستوية دائرية الشكل متراجعة عادةً عن المركز قليلاً تحتوي عنصر التسخين. يتم وضع الوحدة ككل بشكل محكم ضمن هيكل الطباخ الكهربائي.

تطور تصميم المستوى المتزلق بحيث تم فصل وحدتي الفرن والشوي عن الهيكل وبناؤهما ضمن الجدران أو أثاث المطبخ في أي موقع يناسب المستثمر. وبرز تطور آخر تجسد في الهيكل السيراميكي المجهز بأربع مناطق كاملة للطبخ. تتوفر عادةً حلقة الطهي بقطر 180 mm ويمكن توفرها بأقطار 150 و 200 و 215 mm، والحمل الكهربائي الشائع يمتد من 1.2 kW إلى 2.5 kW . تتمتع الحلقات بقابلية التحكم بالحرارة من الصفر حتى الحرارة الكاملة عن طريق مقاومة متزلقة تعمل انطلاقاً من عقد تحكم كائنة على غطاء مفتاح الطباخ. توفر بعض النماذج تحكم ترموستاتي لواحدة أو أكثر من الحلقات بغية المحافظة على الوضع الحراري المطلوب. يمكن تركيب الشواية في المستوى المتوسط أسفل الهيكل، أو في وضعية مستوى العين أعلى لوحة المؤخرة أو بشكل منفصل عن الهيكل كما أسلفنا.

يتم تركيب الشوايات بجانب الموقد على مستوى الخصر أو على مستوى العين فوق اللوحة الخلفية للموقد أو بشكل منفصل عنه كما ذكرنا سابقاً. تلحق بعض الشوايات المركبة على مستوى العين بسيخ شواء مقاد بمحرك. وأحياناً يثبت

بشكل منفصل أسفل السيخ عنصر آخر يمكن التحكم فيه بشكل منفصل يستعمل عند طبخ القدور أو الأطباق المشابهة. يتراوح حمل عناصر تسخين الشواية من 2 حتى 3.5 kW. ويتم التحكم بالأسلوب ذاته المتبع لحلقات الطهي، أي مع منظمات للطاقة. لبعض النماذج إمكانيات تشغيل الشواية لنصف دورة فقط.

تتضمن التصاميم الحديثة للأفران تسهيلات النظافة الدائمة أو تكون من الأنواع ذاتية التنظيف. في العديد من الحالات، يتم تهيئة الفرن بحيث يمكن إخراجه كليا أثناء عمليات التنظيف. غالباً ما تزود الأفران بمخرج صغير يسمح بتصاعد الأبخرة. تثبت عناصر التسخين عادةً في الجدران الخلفية أو الجانبية، وأحياناً تحت السطح السفلي (القاع). وأحمال الفرن الكهربائي من مرتبة 2.5 kW. تسمح أجهزة التحكم بالفرن بتعيين درجات الحرارة بين 90°C و 260°C ويمكن الحفاظ عليها بشكل جيد عن طريق عمل الترموستات التي مرت آنفاً.

تزود الطباخات العصرية غالباً بمشير ضوئي يساعد على إظهار توقيت تشغيل الفرن، كما تزود بمؤقت زمني يستخدم لوصل الطباخ أوتوماتيكياً، ومن ثم فصله بعد فترة تأخير زمني آجلة.

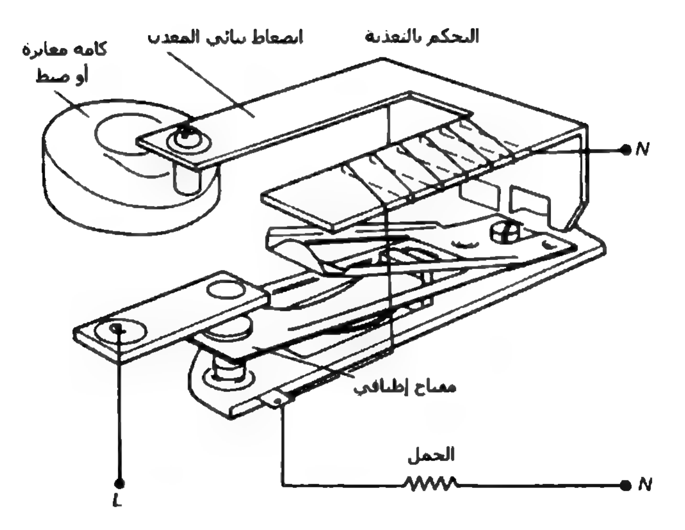
تستخدم حالياً طباخات الميكرويف على نطاق واسع، حيث تسمح الإشعاعات الإلكترومغناطيسية بإنجاز عملية الطبخ أو تسخين الأطعمة بسرعة. تخترق الأمواج التي يتراوح ترددها من 897 حتى 2450 MHz الأطعمة إلى عمق يصل إلى 65 mm تقريباً في جميع الاتجاهات، الأمر الذي يحرك كامل الجزيئات بسرعات عالية ينتج عنها احتكاك بين جزيئات الطعام مما يؤدي إلى توليد الحرارة الكافية للطبخ أو للتسخين.

التركيب (Installation): من المهم أخذ تدابير الأمان الكهربائي بعين الاعتبار عند تركيب الطباخ. وأحد الإجراءات العادية التي يتم اتخاذها عند تركيب الطباخ هو أن يكون لهذا الطباخ دارة متكاملة خاصة به ومستقلة عن باقي الدارات في المنزل ويتم حمايتها بمنصهرات من مرتبة 45 أو 60 أمبير على الرغم من أن المنصهرات في بعض الأجهزة القديمة كانت من مرتبة 30 أمبير. أما خطوط التغذية الخاصة به فهي

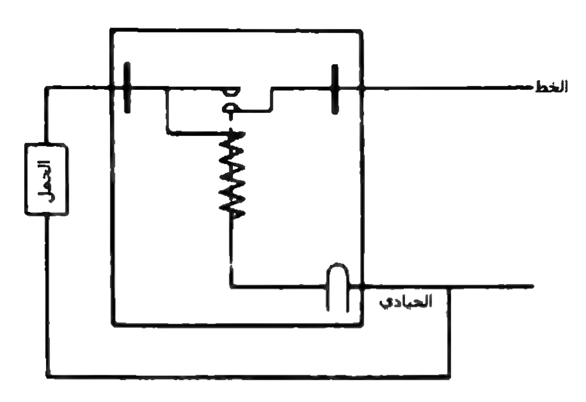
تبدأ من وحدة التغذية الخاصة بالمستهلك وتنتهي في وحدة التحكم الخاصة بالطباخ المركبة فوقه أو إلى جواره. يتم وصل كبل وحدة التحكم بالطباخ بشكل داخلي عادةً ويمدد مباشرةً إليه دون أن يتخلله أي انقطاع. تزود وحدة التحكم بالطباخ بعنصر إظهار (indicator) للدلالة على حالة مفتاح التشغيل الأساسي في الوحدة، غير أن إضاءته لا تعني بالضرورة أن الطباخ في حالة العمل. تتصل العديد من وحدات تحكم الطباخات مع مقبس خارجي 13 A على الرغم من أن الإجراء المتبع حالياً يقوم على التخلي عن المقبس الخارجي والاكتفاء بمفتاح تحكم رئيسي. وبالتالي فإن المشهد يؤكد بأن تواجد المقبس الخارجي يشجع على الإهمال ويؤدي إلى زيادة احتمال تعاقب الأخطار عبر هيكل الطباخ. يجب عدم تركيب الطباخ بجوار المغسلة أو الصنابير، كما يجب مراعاة المحافظة على مسافة 1.8 m بينهما كحد أدنى.

التأريض (earthing): تلبي الأجهزة الجديدة متطلبات BS 7671 (الفصل 12) بشكل إلزامي. أما الأجهزة الموجودة مسبقاً فكل الجهود المبذولة تهدف لضمان تتطابق الجهاز إلى حد بعيد مع متطلبات BS 7671 الجارية مع مراعاة التأريض والتوصيل الأرضي.

التحكم بالطباخ: الأسلوب المتبع الأكثر شيوعاً هو استخدام جهاز التحكم Simmerstat المبين في الشكل (16.16) مع مخطط التوصيلات الكهربائية في الشكل (16.17). حيث يتم التحكم بالحرارة (تقديم كمية محددة من الحرارة المختزنة إلى صفيحة أو لوح الطهي) عن طريق التقطيع الدوري للدارة. عند وصل صفيحة الطهي لمدة 10 sec مثلاً ومن ثم فصلها لمدة 10 sec بشكل متكرر، على مجال زمني محدد، فإن كمية الطاقة المستهلكة ستكون بالطبع نصف الكمية المستهلكة فيما لو استمر الوصل على كامل الفترة الزمنية تلك ولكن سنحصل على نصف كمية الحرارة أو على حرارة متوسطة. أما إذا كانت نسب فترات الوصل إلى الفصل متغيرة كأن تكون 5 sec وصل و 15 sec فصل، فإن النتيجة ستكون 'low' أو ربع الحرارة، 2 sec وصل و 18 sec فصل تعطي عشر الحرارة، وهكذا.



الشكل (16.16) جهاز التحكم Simmerstat



الشكل (16.17) المخطط الكهربائي للجهاز Simmerstat

عند إدارة مقبض التحكم للأعلى أو للأسفل، يمكن الوصول إلى تغيير في الطاقة الواصلة إلى صفيحة الطهي. يتأثر التشغيل الدوري لتماسات المفتاح بشريط ثنائي المعدن مصمم للحركة بمقدار صغير من الحرارة المسلطة عليه عن طريق عنصر تسخين صغير جداً. لدى وصول الشريط إلى نهاية مساره، يقوم بفتح زوجين من التماسات لتنفصل دارة عنصر التسخين، يبرد الشريط ويعود إلى وضعه السابق عندما يتم إغلاق التماسات من جديد، ويتم تكرار الدورة بشكل غير محدود. أما إذا تم وصل صفيحة الغلي على التوازي مع عنصر التحكم بالحرارة، فسوف يخضع أيضاً لتطبيق دوري للطاقة، وبتغيير مسافة اجتياز الشريط ثنائي المعدن بواسطة إدارة مقبض التحكم، يمكن الحصول على نسب فترات وصل/فصل. يرقم مقبض التحكم من 0 حتى الوضع الكامل مع وضع فصل دون الصفر. يمكن الحصول على الحرارة الكاملة عند ضبط التحكم في وضع الوصل الكامل، حيث تستمر تماسات المفتاح بالتماس مع بعضها البعض. عند ضبط التحكم على الرقم 4 تبدأ التماسات بتقطيع الدارة بشكل دوري، وتنخفض الحرارة إلى النصف تقريباً إذا لم تكن التغيرات اللازمة أعلى من هذا المقدار. كما يمكن الوصول إلى تخفيض ناعم ومتوازن للحرارة عبر دارة إضافية للتحكم باتجاه الصفر. ففي مثل تلك النقطة يتم تخفيض الدخل الحراري إلى ما يقرب من 8% أي ما يكافئ 150 W تقريباً، مع 1800 W لصفيحة الطهي.

التسخين بالترددات العالية

يستخدم التسخين التحريضي حالياً بشكل واسع في الصناعة من خلال أربعة مجالات أساسية تغطي تطبيقات عمليات التسخين: المعالجة التحريضية، إحماء الكتل والقضبان المعدنية، صهر المعادن، وتطبيقات التجهيزات العلمية. يبين الشكل (16.18) فرن نموذجي.

عندما يتطلب إنتاج الأجزاء الضخمة عملية تقسيةً انتقائية بتسامح صغير، على سبيل المثال، محركات السيارات ومركبات آلية نقل الحركة، فإن الحرارة التحريضية ستكون هي الوسيلة المثلى لذلك. كما يمكن استخدامها في عمليات اللحام بالنحاس، بالقصدير، وعمليات التلدين، اللحام الشعري، والعديد من التطبيقات الأخرى.



الشكل (16.18) نموذج من أفران التسخين بالترددات العالية (بتردد 1KHz)

تلجأ صناعة تشكيل المعادن إلى الحرارة لتسخين الكتل والقضبان المعدنية أو الخامية باستمرار أو بشكل انتقائي على امتداد أطوال القضبان المعالجة حتى الدرجة 1250°C، قبل التشكيل بواسطة الضواغط الميكانيكية أو آليات التشكيل الأفقية.

تنصهر المواد الحديدية واللاحديدية في الأفران التحريضية بسعات تبدأ من بضع كيلوغرامات لتتجاوز 70 طناً. يمكن أن تكون هذه الأفران من أنواع مختلفة كالنوع ذي الميلان الصغير (small tilt) أو الدفع للخارج (push out) أو التدفقي (rollover) أو ذي المنصة المائلة (platform tilt) أو التخلخلي (vacuum).

تتضمن بعض التطبيقات العلمية عمليات ترسيب لامحوري على السيليكون وذلك كما في الدارات الميكروية، تنمية البللورات، التكرير الموضعي، تحليل وحفر البلازما، وتحديد الكربون والكبريت.

تصنف تطبيقات التسخين التحريضي عادةً إلى مجموعات تابعة للتردد: الترددات الراديوية RF من 250 kHz حتى 10 MHz ، الترددات المتوسطة MF من 1~10 kHz، والترددات المنخفضة LF من 50~75 Hz.

يعتمد تردد مصدر الطاقة الواجب اختياره على التطبيق بشكل كامل، فكلما كان التردد أعلى كلما حصلنا على أثر حراري سطحي بشكل أكبر. تستخدم الترددات المنخفضة في تطبيقات الحرارة المتغلغلة. تقوم المبدلات الساكنة بزيادة مجال تطبيقات التسخين التحريضي بشكل كبير من الترددات المتوسطة إلى المنخفضة بسبب وثوقيتها ومتانتها و فعاليتها المرتفعة. حيث يصل المردود في بعض الحالات لأكثر من 95%. بينما نادراً ما يتجاوز مردود المولد الصمامي لتطبيقات الترددات الراديوية 60%.

هناك تركيز على بناء آلات الصباغة المستخدمة في صناعة الورق والألواح التي تترافق مع مجففات الهواء الساخن عالية السرعة، ومع أسطوانات تجفيف البخار الساخن أحياناً. أحد أهم التطورات الواعدة للمجففات عديمة التلامس يكمن في استخدام طاقة الأمواج الراديوية، حيث تمتاز هذه الطاقة بامتصاص الجزء الأعظم منها من قبل النسيج أو الصباغ وذلك بالإضافة إلى أثر التجفيف العميق، وبتقديمه تأثير تسوية قطاعية للرطوبة، وهذا ما يمنع بقاء الرطوبة في المادة. في بريطانيا، تم تركيب تجهيزات ذات خرج يصل إلى 30 kW.

تستخدم طريقتي التسخين بالأمواج الميكروية والتسخين العازل في طهي الطعام وتسخينه وتعتمد كلتا الطريقتين على نفس الظاهرة المعروفة باسم التهييج ثنائي القطبية، والناتج عن الحقل الكهربائي المتناوب. الفارق الرئيس بين هذين الأسلوبين يكمن في استخدام الأول ضمن مجال الترددات 10~150 MHz، بينما يستخدم الآخر الأمواج الميكروية ذات الترددات الأعلى من المجال السابق، والحزمتان المستخدمتان حالياً هما 897 MHz و 2450 MHz .

توضع المادة التي ستخضع للمعالجة بالتسخين العازل بين إلكترودات، بينما يستخدم الدليل الموجي في التسخين بالأمواج الميكروية لنفس الغرض. يمكن الوصول إلى كثافات طاقة أعلى بجهود كهربائية أقل للمنتجات الغذائية (الأطعمة) بواسطة ترددات الأمواج الميكروية، وذلك يقدم ميزة خاصة لدى استخدامها مع الأطعمة الجافة نسبياً

كشرائح البطاطا مثلاً. إن أحد أفضل التطبيقات الشائعة للتسخين العازل هو مراكز شي (تحميص) البسكويت وبعض منتجات الخبز الأخرى، حيث تعمل هذه العملية على تخفيض محتوى الرطوبة إلى مستوى محدد بشكل مسبق، ومن ثم تتم عملية الطهي من الداخل. لكن من غير المفيد عملياً تطبيق التسخين بالترددات العالية في مراحل التجفيف والتحميص الأولى، بينما تؤمن الطرق التقليدية فعالية أكبر.

كما يستخدم التسخين العازل بشكل واسع في إعداد لزوجة الراتنجات الصناعية، وفي لحام المواد اللدنة حرارياً، وفي التسخين المسبق للمطاط ومساحيق القولبة.

بما أن الحرارة تنمو بشكل منتظم في جميع الاتجاهات، فإن المادة ذات السماكة الأكبر تحتاج لرفع درجة الحرارة بشكل منظم أكثر في كل مكان، وبالتالي فإن مركز المادة يخضع لنفس درجة حرارة الأجزاء المتبقية.

لحام المواد اللدنة حرارياً مثل PVC هو المجال ذو الفعالية الأكبر للتسخين العازل الذي يغطي تطبيقات مثل المواد الدائمة، المنتجات الدوائية، صناعة الأحذية، المواد المفرغة، الخ. أما المستثمر الرئيسي لهذه الطريقة فهو صناعة السيارات لإكساء المقاعد، ألواح الأبواب، الحواجب الشمسية والخطوط الأساسية.

المراجل البخارية الكهربائية

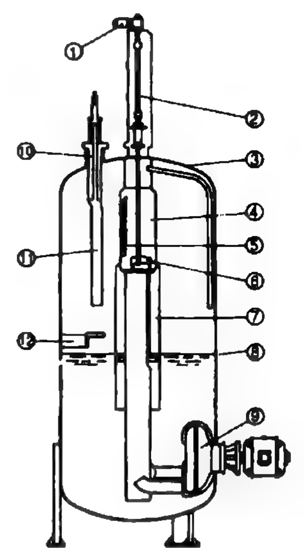
تحتاج العديد من المنشآت للبخار من أجل إنجاز العمليات الصناعية، ومن المناسب اعتبار المراجل الكهربائية بديل عن المراجل العاملة بالوقود، ولا تبنى مقارنة التكاليف الاستثمارية (تكاليف التشغيل) لهذا المرجل على أساس القيمة الحرارية للوقود فقط. حيث يتم أخذ عدة اعتبارات أخرى ، منها: المداخن ومستودعات الوقود الضرورية لعمل المراجل الآلية، وكذلك سعات حمل العمليات الصناعية خلال الصيف أو في الليل أو في أيام العطل الرسمية. هذه مجرد أمثلة عن تطبيقات يكون فيها توليد البخار عن طريق الطاقة الكهربائية هو صاحب الأفضلية.

يعد مبدأ عمل مرجل الإلكترود بسيطاً، حيث يمر التيار المتناوب من إلكترود إلى آخر من خلال مقاومة الماء المحيط بالإلكترودات، فتتشكل في الماء نقطة تفرع بحمية

ترتبط عبر هيكلِ المرجل مع مصدر التغذية الاعتيادي، ووفق توصيات IEE يجب أن يكونٍ مؤرضاً. تقوم قواطع دارة المُرجل المضافة بحمايته من تجاوزات التيار، ويتم عادةً ربط المراجل الكهربائية إلى جهد منخفض (415 V تغذية ثلاثية الطور)، غير أن استخدام الجهود الأعلى وارد مع الحمولات الكبيرة جداً. يبين الشكل (16.19) المخطط البياني للمرجل البخاري GWB Jet Steam عالي الجهد. بينما تتم تغذية حمولات عمليات البخار الصغيرة من مصادر تغذية منخفضة الجهد. يمكن تغذية الحمولات حتى 60 kW من مراجل بخارية مسخنة غاطسة، وتستخدم مراجل الإلكترودات للمجال 40~2300 kW، والشكل (16.20) يبين المرجل GWB Autolec Junior المحدد حتى 1701 kW.



1. محرك التحكم
2. عمود إدارة قميص التحكم
3. أسطوانة المرجل
4. عمود النفث
5. نوافث
6. مجموعة اتصال التحكم
7. قميص التحكم
8. مستوى الماء
9. مضخة التدوير
10. عازل
11. قطب (إلكترود)
12. إلكترود مضاد (دافع)



الشكل (16.19) المرجل البخاري عالي الجهد GWB Jet Steam

تضم المواصفات الخاصة للمراجل البخارية العاملة بالطاقة الكهربائية، المرجل بالكامل مع مثبتاته، مضخة تغذية، وقاطع كهربائي يكون، في حالة مرجل

التسخين الغاطس، عبارة عن قاطع (contactor) أو ثايرستور متحكم فيه مباشرةً عن طريق سوية الماء وضغط البخار.

تجهز مراجل الإلكترود البخارية GWB بمستودع تغذية يقوم بتحسين أدائها، حيث تحتاج جميع أنواع المراجل البخارية إلى مستودع تغذية، وهذا الأمر ملحوظ ضمن مواصفات Autolec Junior. يعتمد مبدأ عمل مراجل الإلكترود البخارية ذات الجهود المنخفضة على التحكم ببخار الخرج بواسطة تغيير عمق الإلكترود المغمور في الماء. ويتم تحقيق ذلك عن طريق إزالة الماء من حوض المرجل وإعادته إلى الخزان عبر صمام ذي ملف لولبي. بشكل مشابه، يتم التحكم بالصمام كتابع للتيار المار في دارة الإلكترود الرئيسي، ولوظيفة ضغط المرجل. بواسطة هذه الأدوات تتم المحافظة على استقرار الضغط أمام تبدلات شروط الطلب على البخار، وعندما لا يكون هناك سحب للبخار، تتم معايرة المرجل على خرج صفري افتراضي.

يمكن لعملية تغذية الماء أن تتسبب بتشكيل قشرة جافة، أو بزيادة الناقلية الكهربائية عن طريق زيادة تركيز الأملاح. في هذه الحالة، يمكن التخلص من هذه الماء عبر حوض مرجل الإلكترود عن طريق صمامات ذات ملفات لولبية، وفي الأوضاع التي تستحق أفضل من هذه الإجراءات، يمكننا تركيب معدات تحكم آلي أكثر تطوراً.

بالإضافة لمراجل GWB التجارية، يمكن وضع مسخنات بخار كهربائية فائقة تتراوح من 6~200 kW ضمن هيكل واحد.

تكون قيم ضغوط ودرجات حرارة عمل المسخنات الفائقة هي 20.4 bar و 350°C كحد أقصى. يتم التحكم بالجهود العالية لمراجل الإلكترودات عن طريق تغيير عدد نافثات الماء المنطلقة مع عمود نافث (العنصر 4 في الشكل 16.19) على الإلكترودات (العنصر 11). يتساقط الماء الذي لم يتحول إلى بخار عائداً إلى قاع حوض المرجل. يقوم قميص التحكم (العنصر 7) بضمان وظيفة التيار المتدفق في دارة الإلكترود وضغط المرجل.

مراجل الماء الساخن الكهربائية

تقوم هذه المراجل بشكل رئيسي بتزويد أنظمة التدفئة المركزية بالماء الساخن، وتعتبر مصدر تغذية المنازل بالماء الساخن. من الضروري استخدام خزان أو مبادل حراري بدون خزان (الشكل 16.23) عندما نريد استخدام الماء الساخن عبر المنافذ المفتوحة (أي الحنفيات وأحواض السباحة).

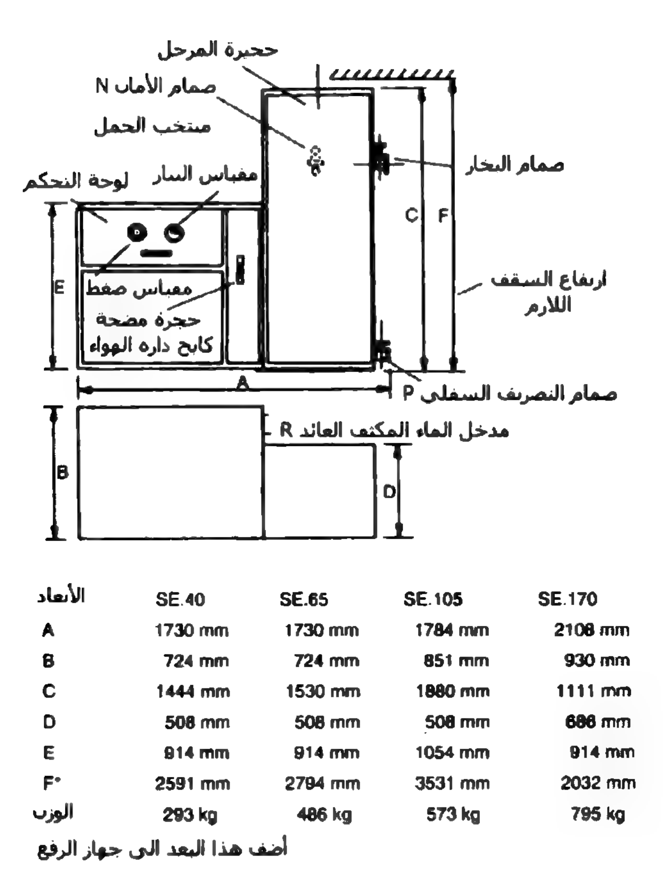
يمكن وصل المراجل إلى نظام كهربائي خاص بوقت الذروة (on-peak) أو خاص بخارج وقت الذروة (off-peak). حيث يتم في الحالة الأخيرة عادةً تخزين الطاقة في أوعية تخزين حراري تحتفظ بالماء بدرجات حرارة عالية ويتم مزجه مع منظومة ثانوية أخرى حسب الحاجة، الشكل (16.22) يوضح هذا المبدأ.

يمكن أن يتغير الحمل الحراري الفعلي لهذا النظام، من التدفئة المركزية المباشرة وخدمات الماء الساخن المنزلية إلى أحواض السباحة الساخنة، رفع المستوى الحراري لمنظومات استرداد الطاقة وإجراءات حلول التسخين.

تعمل المراجل الكهربائية بكفاءة حرارية عالية وتوفر استجابة سريعة لتغير الطلبات في حالة منشأة تخزين حراري عن طريق حجز الحرارة غير المستخدمة خلال حلقة تفريغ الحمل الحراري ضمن الوعاء، وبذلك يتم جعل الدخل الحراري أقل خلال حلقة التحميل الحراري.

تملك المراجل الكهربائية عدداً من الإيجابيات وهي : عدم الحاجة لمكان من أجل تخزين الوقود، عدم الحاجة لمستلزمات المداخن، عدم وجود إمكانية للتعامل مع الرماد، عدم انبعاث الأدخنة أو الرسوبيات، بالإضافية إلى حد أدنى من العناية المطلوبة للمحافظة على عمر طويل للمرجل.

مبدأ عمل المرجل الكهربائي هو أنه من كل طور من أطوار التغذية الثلاثية المرتبطة إلى منظومة الإلكترود، يمر تيار إلى الحجاب الحيادي.



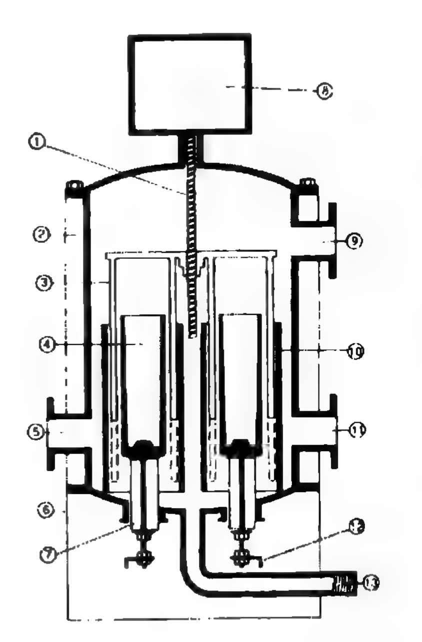
الأبعاد	SE.40	SE.65	SE.105	SE.170
A	1730 mm	1730 mm	1784 mm	2108 mm
B	724 mm	724 mm	851 mm	930 mm
C	1444 mm	1530 mm	1880 mm	1111 mm
D	508 mm	508 mm	508 mm	686 mm
E	914 mm	914 mm	1054 mm	914 mm
F*	2591 mm	2794 mm	3531 mm	2032 mm
الوزن	293 kg	486 kg	573 kg	795 kg

أضف هذا البعد الى جهاز الرفع

الشكل (16.20) المرجل GWB Autolec Junior

يتم التحكم آلياً بمرور هذا التيار بواسطة صمام (sleeve) تحكم من البورسلان يرتفع أو ينخفض على الإلكترود لزيادة أو إنقاص التيار. إن التحكم بطاقة الدخل هي مسؤولية التيار المار وكذلك درجة حرارة الماء الخارج من المرجل. والربط الكهربائي هو ربط نجمي، وبالمطابقة مع توصيات IEE فإن نقطة التفرع النجمية يجب أن ترتبط بحيادي المنظومة وتؤرض عندها (التعليمة 554-03-05).

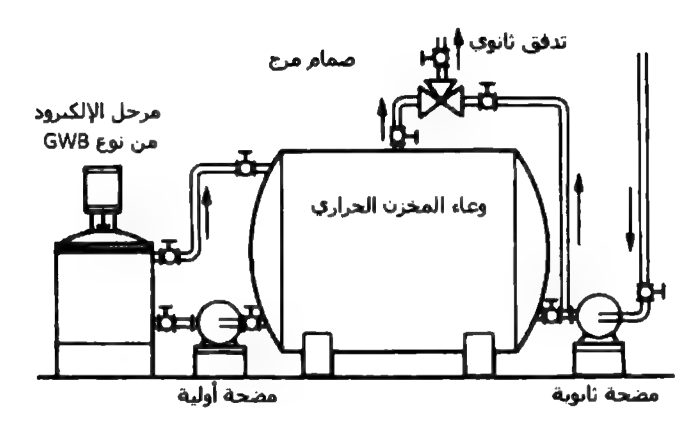
يتم تجهيز المرجل بقواطع كهربائية توفر الحماية من تجاوز التيار وانعدام الجهد. يبين الشكل (16.21) المقطع العرضي لمرجل الإلكترود. يقوم محرك وعلبة سرعة (العنصر 8) برفع حجاب (shield) التحكم بالحمل (العنصر 3) أو تتريله عن طريق تدوير محور التحكم بالحمل (العنصر 1). عندما يكون ستار التحكم في وضعيته الدنيا، أي منخفض كلياً، فإن دخل المرجل يكون في حده الأدنى (يعتمد على درجة حرارة ماء التغذية) وسيكون من رتبة 4% من معدل المرجل.



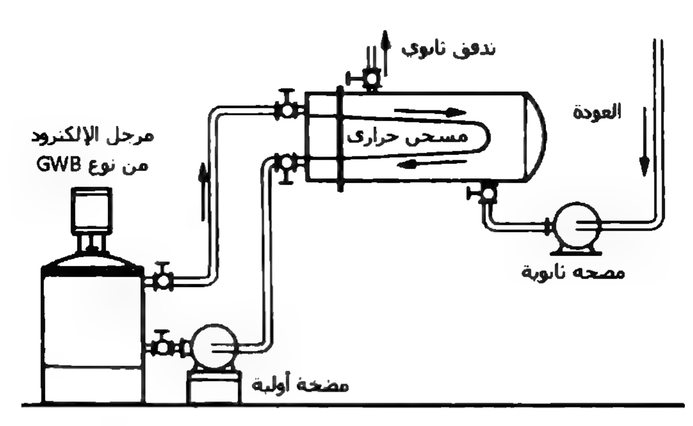


الشكل (16.21) مرجل إلكترود الماء الساخن

تصمم المراجل الكهربائية لدارة بجهود ثلاثية الطور منخفضة (400 V)، وفي بعض الأحيان، تضمنها لنا شروط التحميل ونظام التعرفات، يمكن بناء مراجل بجهود عالية. يبين الشكل (16.24) مخطط مرجل إلكترود عالي الجهد (18~66 kV).



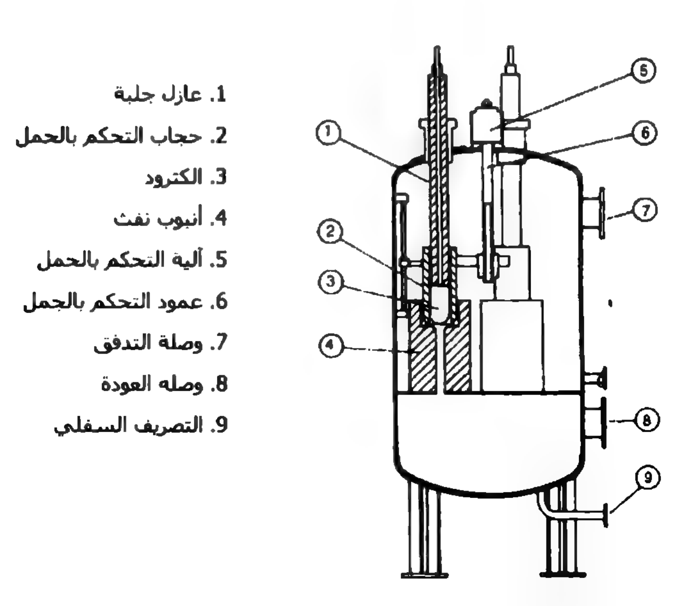
الشكل (16.22) تسخين مخزن حراري



الشكل (16.23) تسخين حمام سباحة وخدمة الماء الساخن

يتراوح معدل kW للمراجل منخفضة الجهد من 144 kW إلى 1600 kW وللمراجل الماء الساخن من 11 kW إلى 18 MW. ويتراوح للمتطلبات الصغيرة للتسخين من 12~72 kW، حيث يستخدم مقاومة سلكية أو مرجل تسخين غاطس (مغمور بالماء). ويتم وصل عناصر التسخين بشكل مباشر من خلال قاطع تلقائي.

كما هي حال جميع المراجل، يجب أن يكون الماء المستخدم خالياً من الشوائب قدر المستطاع، وأن تنتمي ناقليته إلى مجال تصميم المرجل والنظام. هذه القيمة تساوي 1500 Dionic لمراجل الجهود المنخفضة و 200 Dionic لمراجل الجهود العالية.



الشكل (16.24) الشكل التخطيطي للمقطع العرضي لمرجل الكترود الماء الساخن

أفران المصباح الصناعية

تتم عمليات الإنهاء (finishing) للعديد من قطع الأثاث المنزلي أو الأدوات المنزلية عن طريق الطلاء بورنيش السيلليلوز، ويتخلل عمليات الطلاء فترات تجفيف. يمكن إنجاز التجفيف السريع للورنيش باستخدام أفران التسخين الوهاجة.

إن المصدر الأساسي لحرارة مثل هذه الأفران هو مصابيح التنغستين التي تصدر كمية كبيرة من الطاقة التي تستهلك في تشكيل موجة إشعاع قصيرة تحت حمراء.

تقوم هذه الموجة باختراق الهواء ومعظم الغازات بأسلوب مشابه للضوء، دون أية ضياعات محتملة للطاقة. وعندما يعترض مسار الشعاع الساخن جسم ما، يحدث امتصاصاً للطاقة الأمر الذي يرفع حرارة الجسم.

فعالية هذه النوعية من الأفران عالية جداً، حيث يمكن الوصول مع مصابيح تسخين من زجاج الكوارتز إلى أكثر من 1300°C. تمتاز عمليات التسخين بهذا الأسلوب بالسرعة والمتانة والاستجابة السريعة وبسهولة التحكم والنظافة.

تنقسم أفران المصباح إلى نوعين رئيسيين: الأول عبارة عن قضيب على شكل قطع مكافئ مزود بعاكس متكامل داخل الغلاف. في النطاق النموذجي من Philips Electrical هناك ثلاثة معدلات مناسبة للتطبيقات الصناعية: 150 W، 300 W، 375 W، وهذه النماذج مستخدمة بشكل واسع في الصناعة في أعمال شي الدهان (paint baking)، وعمليات التسخين التي تتطلب درجات حرارة منخفضة إلى ما دون 300°C. أما النوع الثاني فهو ملائم لدرجات الحرارة القريبة من 1000°C، وهو من نوع زجاج الكوارتز الأنبوبي. حيث تتراوح العناصر نموذجياً من 500 W حتى 3 kW وتستخدم عواكس خارجية. كذلك تتوفر المصابيح ذات الطلاء الانعكاسية. تتوافر مصابيح أخرى بمعدلات حتى 20 kW يضاف إليها مصابيح الهالوجين Halogen المناسبة لدرجات الحرارة التي تفوق 1000°C.

يفضل عموماً استخدام العواكس المستوية أو المنبسطة عند التعامل مع المواد المستوية أو الصفيحية. أما عندما يقتضي الأمر تركيزاً للطاقة على قطعة أو مساحة صغيرة من الأجسام المعالجة، فعندئذ تكون العواكس الإهليلجية أو عواكس القطع المكافئ هي المفضلة.

من الضروري لدى شي الدهان أو تجفيفه، توفر آلية انتزاع خاصة لإزالة الهواء المشبع. بما أنه لا يوجد تلوث للهواء بمخلفات الاحتراق، من الممكن استعادة أية مذيبات ثمينة قد تكون حملت بعيداً بسبب تيار الهواء. يمكن بإجراء بعض التعديلات الطفيفة تركيب هذه الأفران في المنشآت الإنتاجية الموجودة قيد الاستخدام.

التبريد وتكييف الهواء

بينما يكون اهتمام المهندس الكهربائي العامل في مجال التبريد منصباً على عملية التصميم والتركيب والصيانة أو الإصلاح للتجهيزات الكهربائية والمألوفة بالنسبة إليه من بين كافة التطبيقات، فإن معرفة عملية "إنتاج البرودة" ستساعده على إنجاز هذه الوظائف. يرتكز أساس عملية التبريد بالكامل، على استخراج الحرارة من المادة (عادة الطعام) المراد تبريدها، إما بشكل مباشر أو غير مباشر، واستخدام هذه الحرارة لتبخير ما يسمى بـــ "سائل التبريد" (refrigerant).

تحتاج جميع السوائل للحرارة حتى تتبخر، على سبيل المثال، يتبخر الماء عند درجة الحرارة 100°C، والنشادر عند -33°C في الضغط الجوي النظامي. تعرف هذه الحرارة بالحرارة الكامنة (latent heat) ويتم استخدامها في التبريد. يتم احتواء سائل التبريد ذي نقطة الغليان المنخفضة في مكون يدعى المبخر (evaporator)، ويتم غلي سائل التبريد هذا عن طريق الحرارة المسحوبة من المادة المراد تبريدها.

في عدد من الحالات، يتم استخدام وسط دخيل يؤثر كأداة تبريد. حيث يمكن صبّه فوق وشائع المبخر في مبرد هوائي، أو قد يستعمل في المبردات المترلية أو في خزائن العرض. يمكن للماء أن يكون هذا الوسط لبعض الحالات الأخرى مثل آلة قطع الجليد أو السمك في المجمدات المتراصة.

إن استخلاص الحرارة من هذا المحيط هو ما ندعوه بعملية "إنتاج البرودة production of cold".

حظيت وسائط التبريد (مواد التبريد) باهتمام واسع في التسعينات من القرن الماضي وأوائل القرن الحالي نتيجة الضرر الذي سببته هذه المواد للبيئة - نضوب طبقة الأوزون - وهذه المواد تعرف أيضاً بالهالون (halon)، كلوروفلور الكربون (CFCs) وهيدروكلوروفلور الكربون (HCFCs) والتي كانت الأكثر استخداماً وشيوعاً في الثلاجات حتى ذلك التاريخ.

استخدمت هذه المواد في الثلاجات بنوعيها المترلية والتجارية وفي تجهيزات تكييف الهواء. ومع هذا، منذ برتوكول مونتريال Montreal في كندا عام 1987 أصبحت

هناك اتفاقية عالمية لاستبعاد استعمال هذه المواد بشكل رسمي في عام 2000. في عام 1990 تم منع استخدامها في العديد من الأجهزة الجديدة بينما استمر مسموحاً به في البعض الآخر حتى العام 2010 حيث سيحظر استخدامها نهائياً. السرعة التي جرت فيها تلك الموافقة العالمية والتشريعات الصادرة نتيجة لها فاجأت الصناعيين الذين لم يكونوا قد وجدوا البدائل المثالية بعد. كانت هناك بعض الزيادة في استخدام النشادر والذي كان يستخدم دائماً في المنشآت الصناعية. قام بعض الصناعيون بإنتاج سوائل تبريد تعتمد في أساسها على الهيدروكربون الذي يتسم بصفة سيئة هي قابليته للاشتعال. وكذلك تم تطوير الهيدروكلوروكربون. لم تحتوي هذه المواد على الكلورين ولا تأثير لها على نضوب طبقة الأوزون (zero ODP) حيث ODP تعني القابلية لإفقار الأوزون (Ozone Depletion Potentiel). كذلك كانت هناك عودة لاستخدام ثاني أوكسيد الكربون الذي كان واحداً من أوائل سوائل التبريد المستخدمة وكانت سيئته هي الحاجة للضغوط العالية أثناء العمل.

كان سعي بعض الصناعيين الآخرين لتطوير الفلوروكربون دون تأثير نضوب الأوزون، وكان من الواضح في بداية 2000 عدم التمايز بين المتسابقين في هذا السباق الساعي للبحث عن البدائل المقبولة لكل من CFCs و HCFCs.

للحصول على أداء اقتصادي في الدارة المغلقة، يجب السماح للبخار (المشكل بتبخير سائل التبريد وتحميله بالحرارة) بالتخلص من الحرارة والعودة لحالته السائلة من جديد). لهذا الغرض، يتم جلب سائل التبريد إلى تماسات تبادل حراري مع المبددات الحرارية كالهواء الجوي أو ماء التبريد في درجة حرارة الجو المحيط، وذلك يعني وجوب رفع درجة حرارة سائل التبريد الخارج من المبخر إلى درجة حرارة أعلى منها للمبددات الحرارية.

تسند هذه المهمة في دارة ضغط البخار إلى ضاغط من النوع المكبسي الترددي أو النوع الدوار للتجهيزات الصغيرة والمتوسطة، ومن نوع ضواغط الطرد المركزي للتجهيزات الكبيرة. يظهر القسم المفيد من الطاقة المصروفة على شكل ارتفاع في الضغط ودرجة حرارة البخار، خلال دورات تبديد الحرارة المتعاقبة، سيتحول المبرد إلى الشكل السائل لكنه سيبقى محتفظاً بضغط عال. على سبيل المثال، يتكاثف

النشادر عند درجة الحرارة 25°C وعند ضغط إشباع 10 ضغط جوي لإعادة السائل إلى المبخر وهذا تستكمل الدارة. يجب أن يتم تحديد السائل ذي الضغط المرتفع إلى ضغط أخفض عند بدء عملية التبريد. يتم استخدام أداة خانقة قد تتخذ شكل أنبوب شعري بسيط أو شكل صمام خانق، ويمكن التحكم بتأثيرها كهربائياً كاستجابة لفرق الضغط أو الحرارة. هناك طريقة أخرى يمكن أن تكون أداةً قياسية يمكن أن تفتح أو تغلق فتحة ثقب صغير كاستجابة لسوية السائل.

يمكن أن تكون الضواغط من النوع المفتوح أو النوع المغلق. يتم إحكام (gland) محور النوع الأول لمنع الضياعات في سائل التبريد وزيت التشحيم بواسطة جلبة، وبروزات ضمن الإطار، ويتم ربط المحرك القائد مباشرة مع محور الضاغط أو عن طريق وحدة تحكم بقشاط (belt control). أما في النوع المغلق فيقترن الدوار مباشرة مع محور الضاغط وبالتالي تتعرض ملفات المحرك لسائل التبريد الذي يمتزج مع أبخرة الزيت. يتم إغلاق التركيبة الأولى بإحكام (لمنع التسرب) ولا يمكن فتحها إلا بالقطع، أما الترتيبة الثانية وهي عبارة عن وحدة يمكن فتحها في المعمل بإزالة الوصلة الناتئة (flange connection).

بالرغم من الاستناد إلى نفس مبدأ تبخير سائل التبريد عند الحرارة المنخفضة، فإنه يمكن الحصول على حلقة تبريد مختلفة، لدى استبدال الطاقة الميكانيكية (للضاغط) بالطاقة الحرارية والتخلص من البخار في المبخر عن طريق امتصاصه بواسطة سائل مناسب مختزل كيميائياً، حيث يتم وضع هذا السائل في قميص ماص. يمكن استخدام النشادر مع الماء كسائل امتصاص، أو يمكن استخدام بخار الماء مع بروميد الليثيوم كسائل امتصاص.

بما أن السائل قد أصبح أكثر قوة وإشباعاً، يتم ضخه إلى ضغوط أعلى للمرجل حيث يغلي عندها سائل التبريد (النشادر أو الماء). يتم بعدها تكثيفه بشكل متعاقب ومن ثم يمدد ويصرف عبر أداة خانقة موجودة في المبخر.

تتواجد أنظمة الامتصاص بشكل كبير في تجهيزات تكييف الهواء كبيرة الحجم حيث يمكن استخدام البخار المتولد في الشتاء لأغراض التدفئة بينما يمكن أن يستخدم في الصيف لتسخين السائل بقوة وقذف بخار نظام التبريد.

كذلك يمكن أن تتواجد هذه الأنظمة في الصناعة الكيميائية حيث يستخدم البخار الراجع من عنفات الضغط الإرجاعي، وكذلك يمكن أن تتواجد في تجهيزات التجفيف والتجميد لمعالجة الأغذية أو في تحضير القهوة السريعة أو الشاي.

تحتاج هذه الأنظمة بشكل عام إلى مساحة تركيب كبيرة من المنشأة مقارنة مع الحيز الذي تشغله دارة ضاغط البخار. لهذا السبب فإن منشآت الامتصاص غير شائعة الاستخدام.

في الوقت الذي قد تتغير فيه المعدات الكهربائية، كمقلعات المحركات، وتجهيزات التحكم، والريليات، والدارات تبعاً للمصنع أو لبلد المنشأ. فإن مبادئ التركيب، بشكل أساسي، هي المذكورة في الأقسام المناسبة في هذا الكتاب.

تلعب المعالجات الصغرية دوراً متنامياً في التحكم في تجهيزات ومنشآت التبريد، وبشكل خاص في بدء وإيقاف الضواغط في المنشآت متعددة الضواغط. صمم مثل هذا التحكم لتخفيض مقدار العناية أو التدخل اليدوي اللازم.

يتكون الضاغط اللولبي – الوافد الجديد إلى حقل التبريد – من لولبين كبيرين أو مسننات حلزونية معشقة مع بعضها البعض يقوم بضخ سائل التبريد والزيت إلى فرازة ومنها إلى المكثف. لا يحوي هذا الضاغط على أجزاء ترددية لذا فهو يعمل بنعومة ويمكنه العمل بسرعات 2500~3000 rpm. ومخارجه محكمة وله مجال واسع من الخدمة يمتد من 29°C- إلى 1°C-. يفيد هذا النوع من الضواغط بشكل خاص في التعامل مع المهام الكبيرة لتكييف الهواء وبدرجات حرارة منخفضة، ويمكن التحكم بخرجه باتجاه تخفيضه إلى 10% من الحمل الكامل.

وفي الفترة الأخيرة، تم تطوير نوع آخر من الضواغط دخل في هذا المضمار، هذا النوع يستعمل لولب واحد فقط وعنصرين نجميين دوارين، ويمتاز بمقدرته على التخلص من الحاجة لمضخة الزيت عبر توليد فرق في الضغط بين خطي الامتصاص والتصريف لتدوير الزيت وسائل التبريد.

يكفي القول بأنه تم إسناد دور هام إلى حصيرة تسخين كهربائية منخفضة الجهد في أرضية غرف ذات درجة حرارة التجمد وغرف التخزين المبنية على مستوى الأرض. حتى النوع المفضل من المواد العازلة حرارياً المطبق تحت أرضيات مستودعات التبريد لمثل هذه التركيبات سيسمح مع مرور الوقت بانتشار البرودة إلى التربة بالتدريج، وبسبب محتوى الرطوبة المرتفع وبشكل خاص بوجود ماء سطحي باطني تتشكل بالتدريج كتلة متجلدة من التربة. تقوم الكتلة الجليدية نتيجة تمددها بتطبيق ضغوط كبيرة على الأرضية السفلية المعزولة حرارياً وكذلك على الخرسانة المسلحة والأرضية الحجرية الغرانوليتية من خلال ما يعرف بظاهرة "تجمد التربة بفعل الصقيع" والتي يتوجب تجنبها بسبب الأضرار الكبيرة التي تسببها للأرضية وعدم قابليتها للمعالجة والإصلاح.

إحدى الطرق المألوفة المتبعة مبنية على تسخين الأرضية كهربائياً إلى درجة حرارة خاضعة للتحكم أعلى من نقطة التجمد، من 1+~+3°C كتابع لدرجة حرارة الغرفة والناقلية الحرارية وسماكة المادة العازلة، وبهذا فإن الطاقة الحرارية النوعية اللازمة هي من مرتبة 12.5 W/m^2 من مساحة الأرضية.

تكييف الهواء والتهوية

إن تكييف هواء الأبنية في بريطانيا لا يعتمد نفس المعايير المعمول بها في الولايات المتحدة، غير أنه أصبح أكثر استخداماً في المباني الضخمة المنتصبة أو التي هي قيد الإنشاء حالياً.

يعتمد مقدار الهواء النقي اللازم لمبنى ما على الأنشطة الممارسة فيه ويقوم الدليل IHVE بوضع المقادير الموصى بها من أجل الأعمال أو الحرف المطروحة. تتخذ عملية تكييف الهواء أشكالاً متنوعة تعتمد على المتطلبات، ولكن بشكل جوهري، يمكن اعتبارها منظومة لإطلاق الهواء المبرد في حيز معطى والمحافظة على جو هذا الحيز عند درجة حرارة محددة مسبقاً، وفي بعض الأحيان عند رطوبة معينة.

يمكن إنجاز ذلك عن طريق منشأة ضخمة لتبريد الماء الذي يمكن تدويره لتبريد الوشائع الموجودة ضمن غرف المبنى. يدور الهواء عبر الوشائع، ويتم التحكم بدرجة الحرارة بواسطة ترموستات موجودة في الغرفة تعمل على وصل وفصل تغذية الماء كلما دعت الحاجة لذلك. السيطرة على الرطوبة ضمن حدود ضيقة أكثر صعوبةً لكن يمكن أن يتم ذلك من خلال نفث رذاذ الماء ضمن التيار الهوائي.

هناك أسلوب آخر لتبريد هواء المنشآت الكبيرة يتمثل في نقل الهواء عبر مجموعة من المجاري المنطلقة من مركز التبادل إلى الفراغات والفناءات المختلفة المقصودة. يتم تنظيم درجة الحرارة بواسطة كمية الهواء الواردة إلى الفناء. تعرف هذه المنظومة باسم حجم الهواء المتحول أو المتبدل. مثل هذه المنشآت مناسبة بشكل خاص لعمليات الوصل مع الضواغط من النوع النابذي أو اللولبي. بينما يمكن استخدام وحدات تكييف الهواء المستقلة (القائمة بذاتها) للغرف الصغيرة المراد تكييف هوائها - أو ثلاثة أو أربعة مكاتب من الحجم المتوسط - كل على حدة. حيث يتم التحكم بكل منها عبر ترموستات تقيس درجة حرارة الغرفة. صممت هذه الوحدات لتبدو مشابهة للمسخنات الحرارية الكهربائية القياسية بالحمل بالرغم من كونها ذات حجم أكبر نوعاً ما.

17

أنظمة أتمتة الأبنية

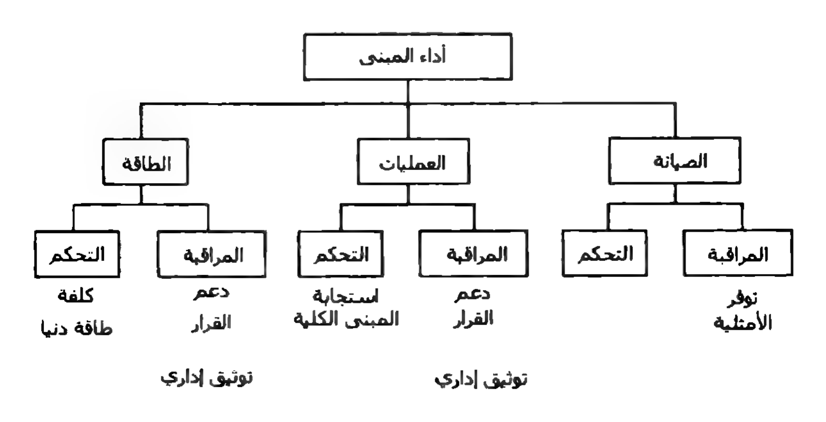
إدراك إمكانيات نظام إدارة المبنى

غالباً ما اقتصر التركيز في صناعة الأتمتة والتحكم في المباني على مدى الخمس وعشرين سنة الماضية على الجانب التكنولوجي، فقد طور التحكم الرقمي المباشر في البداية، ومن ثم جرى استبدال الحواسيب الصغرية بالحواسيب الشخصية، ومؤخراً تم التركيز على بروتوكولات الاتصالات القياسية. وفرت كل هذه التحولات قدراً أوسع من المعلومات الملتقطة عن طريق نظم إدارة الأبنية Building Management Systems (BMS) وانخفضت كلفة الأنظمة (من الحواسيب الصغرية إلى الحواسيب الشخصية)، وعلى مدى هذا النطاق الزمني حافظت BMS على ميزاتها دون تغييرات فعلية.

وخلال السنوات العشر القادمة سيكون لتكنولوجيا الحواسيب والاتصالات الأثر الكبير على BMS وسوف تستمر التكاليف بالانخفاض، ولكن ليس بالشكل الدراماتيكي السابق، بينما ستستمر كمية المعلومات المتاحة لأنظمة BMS بالتصاعد بشكل كبير كلما أقدم مصنعو المعدات والأجهزة على إضافة مقدرات الاتصالات القياسية والمقدرات الذكية بشكل أكبر وكذلك سيكون هناك تأثير كبير في مجال التطبيقات البرمجية الجديدة، أما الإنترنت والسهولة في مكاملة برمجيات الطرف الثالث، وازدياد الطلب على سلاسل الإدارة المتخصصة أكثر فستدعم وتعزز

صناعة BMS لإنتاج وتطوير حلول تفصيلية ستساهم بشكل دراماتيكي في زيادة فوائد BMS.

تشكل المعدات الصلبة والشبكات منصات عمل فقط، لا يمكنها تقديم الفائدة للتسهيلات الإدارية، هذه الفوائد ستقدمها التطبيقات البرمجية ومزايا BMS، وستتعاظم الفائدة من BMS في صناعة وتطوير الأداء، حيث أن لديها القليل مما تستطيع عمله مع المعالجات والبروتوكولات فيما يخص الطاقة والتشغيل والصيانة، يمكن تقسيم أبعاد الطاقة والتشغيل أو العمليات والصيانة بشكل إضافي إلى قضايا تتعلق بالتحكم وأخرى بالمراقبة الشكل (17.1).



الشكل (17.1) دور BMS في رفع أداء المبنى

قضايا التحكم بالطاقة: تعتبر الجدولة الزمنية من أكثر ميزات التحكم بالطاقة شيوعاً لأنظمة إدارة المباني BMS، مع وجود بعض أنظمة BMS الأخرى التي تعتمد تسلسل عملية التبريد كذلك، هنا ولسوء الحظ تتوقف قائمة جميع التسهيلات. في جميع الحالات تقريباً، يتم تركيب BMS مع تسهيلات تضم الكيان الصلب اللازم لتنفيذ ميزات إضافية للتحكم بالطاقة من قبيل:

- دورة التشغيل

- حدود المتطلبات
- إعادة الماء المبرد
- إعادة الضغط الستاتيكي VAV

يمكن أن تؤدي هذه الاستراتيجيات إلى وفورات هامة في الطاقة مع عدم توظيف المعدات الصلبة من قبل مدير التسهيلات بشكل تقريبي: إذا كانت الحالة كذلك، لم لا يتم تنفيذها في البناء؟. الإجابة هي أن هذه المزايا أفضل إعداداً عندما تكون التسهيلات عملياتية أو عاملة وليس عندما لا يزال البناء قيد التنفيذ، حتى تساعد هذه الإعدادات والمزايا في تحقيق وفورات في الطاقة، يمكن استغلال خبرات بعض شركات أنظمة BMS أو الاستشارات في مجال تسهيلات الإدارة.

لنأخذ على سبيل المثال المشاريع التي تستخدم أنظمة التسخين الحراري، إن التخزين الحراري هو مبدأ تبريد كتلة (ماء إلى جليد) خلال الفترات التي تتطلب تبريداً منخفضاً (الليل) واستخدام الطاقة المختزنة بعدئذ في الفترات التي تتطلب تبريداً عالياً (بعد الظهر)، بتحديد مستويات طلب الطاقة الخارجية زمنياً، يتم توفير الأموال عن طريق تخفيض مشتريات الطاقة إلى الحدود الدنيا، والتي تكون ذات تكلفة عالية خلال فترات الطلبات العالية، وعن طريق تخفيض السعة القصوى للمبرد الذي يحتاجه المبنى، إن مسألة التحكم بنظام تخزين الحرارة مسألة معقدة تماماً، كما يعتمد الوفر من الحرارة المختزنة على ثلاثة متحولات: كيفية بناء الثلج، متى يستخدم الثلج، كم هي سرعة استخدامه، بالمعلومات والزمن الكافيين وحساب الطاقة يمكن تحديد أو تعيين حل أقرب إلى المثالية.

قضايا مراقبة الطاقة: يستطيع نظام إدارة المبنى BMS جمع المعلومات الضرورية اللازمة لدعم القرارات المتعلقة بالطاقة والتي تواجهها عدداً من نظم إدارة التسهيلات، هناك قول مأثور في الإدارة يقول (إذا لم تتمكن من القياس، فإنك لن تتمكن من الإدارة) وهذا ينطبق على إدارة الطاقة، وهناك ثلاث طرق رئيسية يمكن من خلالها قياس الطاقة كجزء من عملية إدارة الطاقة.

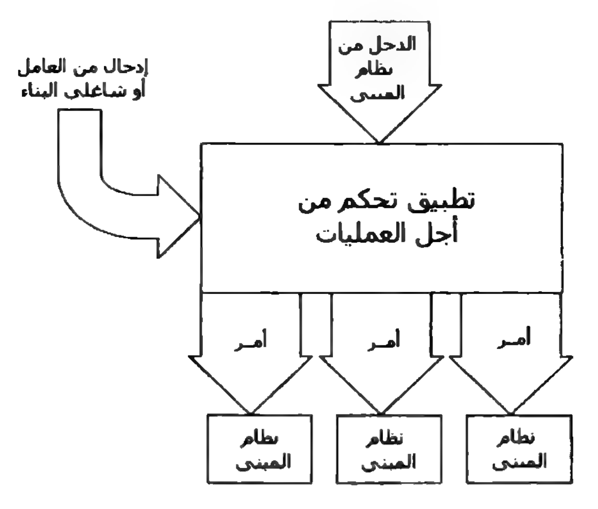
- *مخطط الخدمة (utility profile)*: وهو عبارة عن تقرير قياسات يصدر عن أنظمة BMS ويقوم بتنظيم الاستهلاك والطلب اعتماداً على نظام التعرفة المعمول به لهذه الخدمة. يمكن تمثيل بيانات هذا التقرير في نقاط بيانات وضربها بالمعدل المناسب لحساب تكلفة الفاتورة الكلية، ومخطط الخدمة هذا هو طريقة مفيدة لفحص فواتير الخدمة وتوفير إجابة فورية للسؤال التالي (ما هي قيمة فاتورتي إذا كانت ستصدر اليوم؟).
- *فاحص حسابات الطاقة (energy auditor)*: وقد يكون عبارة عن برنامج جدولي يستخدم البيانات المعالجة من قبل نظام BMS ليوفر تقدير سريع ومبسط عن توفير الطاقة، تستخدم أدوات تحليل متعددة هذا البرنامج بغية خلق نموذج طاقة يسهل ويوفر إجابة آنية عن السؤال (ما هو مقدار وفر الطاقة الذي أنجزته في الأسبوع الماضي؟).
- *تخطيط الحمل (Load profiling)*: تستطيع أنظمة BMS اختبار استهلاك الطاقة اليومي وإظهار النتائج مصاغة بشكل بياني، بعد دراسة المخطط اليومي يمكن لعدة تسهيلات إدارية أن تعرّف أزمنة أو فترات إطفاء المعدات والأجهزة بغية تخفيض الحمل المطلوب، وبعد مقارنة مخططات الأيام المختلفة يمكن تمييز الاستهلاك الشاذ للطاقة، توفر أنظمة BMS وثائق دعم الإدارة لحصة كلفة الطاقة عن طريق موقع السكن لاستخدام HVAC خارج ساعات العمل الطبيعية، أي تستطيع أنظمة BMS تحديد ساعات العمل الإضافية المطلوبة لتكييف الهواء في المسكن.

قضايا التحكم بالتشغيل: ينحصر دور أنظمة BMS في قضايا التحكم بالتشغيل في تأمين استجابة البناء الإجمالية لحالة المنطقة، ويمكن أن تقع المنطقة في عدة وضعيات مثل:

- مشغولة
- غير مشغولة
- احتياط أو في الانتظار

- إنذار أمان
- إنذار حريق
- انقطاع الطاقة

كما هو مبين في الشكل (17.2) يمكن أن تقوم منظومة إدارة المبنى BMS بتنسيق أنشطة جميع المنظومات الموجودة فيه بهدف جعل عمل البناء مثالياً، وبينما يتم ضمان ذلك، من البساطة بمكان تجاوز الحالة الراهنة للمنطقة باستخدام الهاتف أو المستعرض (browser)، ...، إلخ). يجب كشف حالة المنطقة بشكل آلي، إذا كان ذلك ممكناً، أو تمريرها من منظومة أخرى.



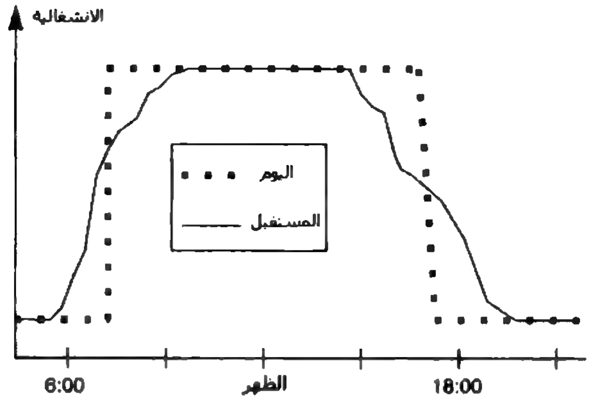
الشكل (17.2) تنفيذ استجابة المبنى بالكامل باستخدام أنظمة BMS

تبين الأمثلة القادمة كيفية قيام أنظمة BMS بالاستجابة الكلية لحدث معين في المبنى:

- في حال حدوث إنذار الأمان: تضاء الأنوار في المنطقة لإخافة الدخلاء، وتأمين صورة جيدة على كاميرات CCTV وتأمين الحماية للحارس الأمني.

- في حال حدوث حريق، تضاء الأنوار في طابق الحادث للمساعدة في عملية الإخلاء، ويتم منع إنذارات الأمان و HVAC غير المرغوب بها الأمر الذي يسمح بتركيز العمال على النار فقط.
- في حال حدوث انقطاع للتيار، هناك تجهيزات ومعدات أساسية تتوقف استناداً لنموذج الإشغال الحالي.

تتغير طرق إنجاز الأعمال، والأبنية الناجحة هي التي تقوم بدعم هذه التغيرات. أحد أبرز التغيرات الهامة للأبنية هو الانزياح في نماذج الإشغال. في الماضي كانت الأبنية إما مشغولة كلياً أو خالية كلياً، وفي المستقبل ستكون الأبنية مشغولة جزئياً لفترة طويلة من اليوم، الشكل (17.3).



الشكل (17.3) تغير شكل الإنشغالية في المكاتب

تتضمن بعض التقانات المستخدمة في الكشف عن وضع انشغالية المنطقة ما يلي:

- الجدولة الزمنية
- حساس الانشغالية
- الإدخال عبر الهاتف

- بطاقات الدخول
- مؤشر قفل الباب
- الدخول عبر المستكشف

عندما تكون المنطقة مشغولة، يمكن برمجة منظومات البناء لتعمل كما يلي:

- وضع حساسية كواشف الدخان على الوضعية Low لتجنب أي إنذارات غير مرغوبة بسبب الغبار والدخان المتواجد في الجو.
- إجراء تقرير لأجهزة الإنذار المكبوتة لخدمات الأمان المختارة في المنطقة.
- تغيير وضع نقاط الحرارة إلى مستوى التشغيل.
- وضع متطلبات التهوية (هواء نقي لكل فرد) في مستوى التشغيل.
- إضاءة الأنوار في المنطقة.

في العقد الماضي، كانت نوعية الهواء الداخلي IAQ (indoor air quality) من القضايا المهمة بالنسبة لبرامج إدارة التسهيلات. بالرغم من أنه تم تركيز الكثير من الانتباه على التشريعات المتعلقة بمظاهر ضعف الأبنية (SBS)، كان كذلك مفهوماً وجود ارتباط مباشر بين كمية الهواء النقي وإنتاجية المبنى المشغول (ازدياد كمية الهواء النقي أيضاً تزيد من تكاليف الطاقة لمعدات المبنى).

بعد دراسة شاملة للمشاكل في الولايات المتحدة، قامت ASHRAE بوضع المواصفات القياسية 62-1989 والتي تتطلب نظام تحكم بالتهوية مبني على الإنشغالية، والتحكم بالتهوية المرتبطة بالطلب (بمعنى التحكم بخوانق الهواء النقي بناء على مستوى CO_2 العائد)، وهي مشروحة في المواصفات القياسية ASHRAE كخيارات مضافة إلى التحكم بالتهوية المبنية على أساس الانشغالية ولكنها لا تشكل بديلاً عنها.

يكمن التحدي، المتعلق بالتهوية المرتبطة بالإنشغالية، في إيجاد طريقة دقيقة وغير مكلفة لقياس كمية الهواء النقي التي تم إدخالها في العالم الفعلي AHU. من غير العملي في الكثير من الحالات إدخال محطة لمراقبة التيار الهوائي ضمن أو خلال تغذية الهواء النقي، فالحل العملي لهذه المسألة تم تطويره مؤخراً (انظر الشكل 17.4)

حيث يتم استخدام حساس CO_2 واحد لأخذ عينات من التيارات الهوائية لثلاثة مواقع ضمن AHU.

إذاً نسبة الهواء النقي في الهواء المنتج يمكن أن تحسب من المعادلة التالية:

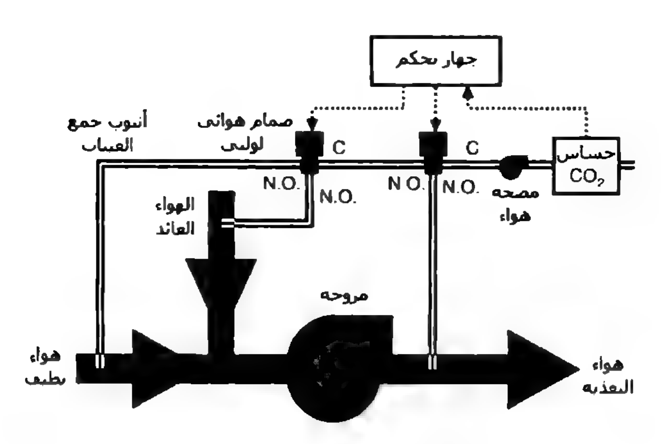
$$\%FA = \frac{X_{RA} - X_{SA}}{X_{RA} - X_{FA}}$$

حيث:

X_{RA} = قياس مستوى CO_2 لتيار الهواء العائد

X_{SA} = قياس مستوى CO_2 لتيار الهواء الداخل

X_{FA} = قياس مستوى CO_2 لتيار الهواء النقي



الشكل (17.4) تحسس CO_2 من عدة نقاط

بالرغم من تعرض حساسات CO_2 للانحياز الزمني، لا يؤثر هذا الانحياز على دقة حساب النسبة المئوية للهواء النقي، عند استعمال عدة نقاط حساسية لـ CO_2 يمكن استثمار مستوى CO_2 المقاس لتيار الهواء لتنفيذ تحكم اختباري للتهوية بناءً على الطلب وذلك بغية التحكم بالتهوية المستندة على الانشغالية.

قضايا مراقبة العمليات: مع التروع باتجاه التوافق المبني على الأداء بين المشغولية ونظم إدارة التسهيلات وبين هذه النظم وشركاء الطرف الثالث، فإنه من المهم توفر القدرة على مراقبة سويات الخدمة لمؤشرات مفاتيح الأداء (KPI) ويمكن أن يتم ذلك عبر مستويات متعددة مثل:

1. البيانات الخام: قيمة KPI الحالية (أي الحرارة الحالية للجو).
2. فترة التيار: مؤشرات أداء مستوى الخدمة في فترة القياس الحالية (أي الوسطي، التغاير، النسبة المئوية للزمن في فترة الراحة).
3. الفترات السابقة: مؤشرات أداء مستوى الخدمة في القياسات السابقة (بصياغة نصية ومخطط أعمدة بيانية).
4. النمذجة: تحليل الفترات السابقة باستخدام أنماط مماثلة (أي تشخيص في مستويات مرجعية موثوقة).
5. التنبؤ: تمديد النموذج إلى الفترات المستقبلية.

قد يكون دور نظام إدارة المبنى في التطبيقات الأكثر تقدماً عبارة تبسيط تخزين البيانات في ملفات لتحليلها من قبل تطبيق طرف ثالث.

تتابع أنظمة BMS وتلتقط كمية كبيرة من البيانات، وعلى العمال إدراك ماهية كل هذه البيانات وجعلها الأساس في اتخاذ قرارهم، تظهير البيانات قضية تساعد عامل النظام على متابعة أداء المبنى عن طريق البيانات المتحركة والتي تتحول إلى معلومات، يمكن عن طريق شاشة وحيدة عرض حالات وأوضاع التسهيلات الكلية ومساعدة العامل على فرز أنظمة المبنى الذي يحتاج لاهتمام أكبر، وتوجيه المصادر لتلك الأنظمة، يقوم تظهير البيانات بوضعها ضمن سياق تظهيرها بدلاً من تبسيط عرضها في أعمدة النص، فعلى سبيل المثال يستطيع العامل خلق تقرير لزبون يظهر فيه درجات حرارة ورطوبة المبنى، أو يعرض هذه المعلومات على شكل مخطط الرطوبة النسبية المبين في الشكل (17.5) حيث يعطي هذا المخطط تحليلاً آنياً عن الحالة في الأمكنة المختلفة.

كشفت النظرية الحديثة للاستشاريين والمقاولين والمستثمرين بأن المشكلة الكبرى مع أنظمة BMS الحالية هي سهولة الاستخدام، بادئ ذي بدء هذه النظرية مفاجئة، تستخدم جميع أنظمة BMS في الصناعة اليوم تقريباً واجهة التخاطب البيانية مع المستثمر الصناعي وهي واجهات قياسية من إنتاج Microsoft Windows. حيث نحتاج لأقل من ساعة لتدريب العامل على كيفية الوصول إلى النظام وعرض المعلومات وتصدير الأوامر والاستجابة للإنذارات، فإذا كان من الممكن تعلّم جميع الوظائف الأساسية للمستثمر في أقل من ساعة، فلماذا تكون (سهولة الاستخدام) هي المشكلة الراهنة الوحيدة الكبرى لاستخدام أنظمة BMS؟

بإجراء تحليل أعمق، يبدو واضحاً أن المشكلة لا تكمن في كيفية الحصول على البيانات ضمن شاشة نظام BMS ولكن بالأحرى في فهم كيفية استثمار تلك البيانات الملتقطة عن طريق نظام BMS، وهنا يدخل دور تظهير البيانات، حيث تقدم أدوات إظهار البيانات فهماً عميقاً لشروط الراحة والتحكم بالطاقة في المبنى وهذا الفهم يشكل مفتاح تسهيلات الإدارة الساعية لتنظيم الطاقة الكلية للمبنى.



الشكل (17.5) مخطط الرطوبة النسبية

سيكون هناك تنوع في متطلبات التوثيق مثل:

- المقدرة على تأمين البيانات المتعلقة بالقياسات المحيطية، مثلاً في المكتب، يمكن أن تكون عبارة عن سجلات المحافظة على شروط IAQ، زمن البدء/التوقف، درجات الحرارة/الرطوبة، أما في المعمل فيمكن أن يكون هناك متطلبات ISO للمحافظة على سجلات الشروط المحيطية التي تؤثر في العملية التصنيعية.
- القدرة على تأمين بيان متكامل أو سجل التحولات للشروط وللأحداث والأنشطة الذي يغطي منظومات المبنى بالكامل.

ستعكس الخبرة والأعمال في المبنى نموذجاً متغيراً في الإنشغالية بشكل متزايد يقود إلى تسهيلات من النوع (ادفع عندما تذهب) بين قاطني المبنى وإدارة التسهيلات، لدعم هذا النموذج يتم تقديم ميزة فاتورة القاطن من الخرج، بحيث تقوم بتسجيل استخدام المكان الخارجي في ساعات العمل العادية وحساب الكلفة المرتبطة.

قضايا متابعة الصيانة: هناك إدراك متنامي على أن اعتماد الصيانة الموجهة إجرائياً (process-oriented approach) يقدم لنا فوائد هامة. تركز الصيانة الوقائية والتنبؤية على أمثلة (optimizing) الزمن المتوسط بين انهيار التجهيزات (MTBF). أما الصيانة الموجهة إجرائياً لعمليات التشغيل وكذلك عمليات الصيانة فهما تركزان على أمثلة (optimizing) جاهزية المعدات وإتاحتها للاستخدام. تستخدم هذه الطريقة كلاً من الزمن الفاصل بين الأعطال (MTBF) والزمن المتوسط لعملية الإصلاح (MTTR) وترتبط بينهما وبين جاهزية المعدات (availability) وذلك وفق العلاقة:

$$\text{Availability} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

عدد من التسهيلات ينتظر جاهزية تساوي 98%

الصيغة الحالية بين محترفي الصيانة تقول (الإصلاح هو عملية وليس حدث).

يمكن تقسيم عملية الإصلاح إلى ثلاث عمليات تنفذ بشكل متعاقب:

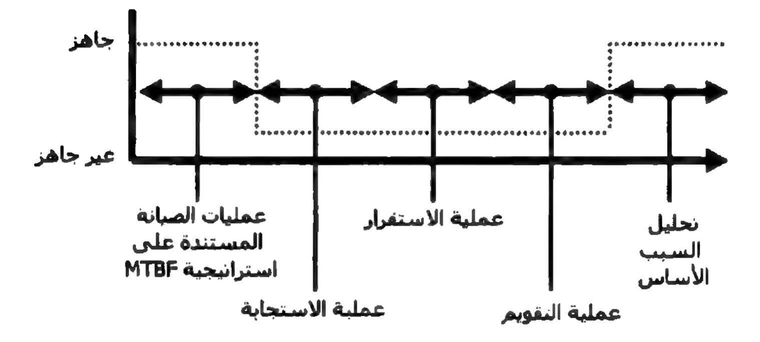
- *عملية الاستجابة (response process)*: الاطلاع على المشكلة وفهمها وتأمين الشخص المناسب وتجهيزه بالأدوات المناسبة وإيصاله إلى موقع العطل.
- *عملية الاستقرار أو التثبيت (stabilization process)*: إيقاف النظام أو تجاوزه لتأمين جاهزية (availability) جزئية لحين إنجاز الحل النهائي.
- *عملية التصحيح أو التقويم (rectification process)*: وهي إنجاز أو تنفيذ الحل الدائم.

تتضمن عملية تحليل السبب الأصلي (root cause analysis process)، دراسة هندسية بعد حدوث العطل لضبط وتحسين استراتيجيات الصيانة (الشكل 17.6).

يدعم نظام إدارة المبنى عملية الصيانة عن طريق تنبيه العامل عند الحاجة للصيانة، وذلك استناداً إلى تقويم زمني أو وقت تشغيل المعدات، أو عند تجاوز المستويات الحدية للشروط التي تتم مراقبتها، (مراقبة تلوث مصفاة ما).

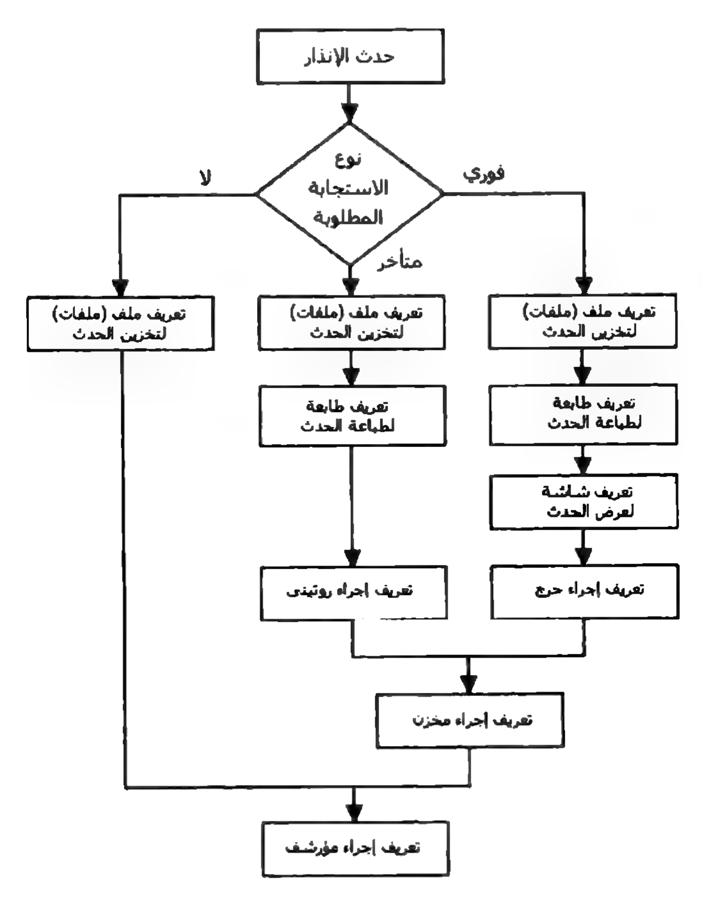
يمكن برمجة منظومة إدارة المبنى كجزء من عملية الاستجابة كأن تنطلق إنذارات الحوادث تبعاً لشروط متنوعة مثل:

- اكتشاف خطأ ما في الجهاز.
- درجة الحرارة تقع خارج مجال العمل الطبيعي.



الشكل (17.6) البحث عن جاهزية الأجهزة بشكل أمثلي

لدى إطلاق إنذار ما، يمكن لمنظومة إدارة المبنى أن تنفذ عملية استجابة مؤتمتة كما هو مبين في الشكل (17.7).



الشكل (17.7) عملية الاستجابة للإنذار

فيما يلي الطرق التي يمكن من خلالها لمنظومة إدارة المبنى أن تدعم عملية الاستقرار (stabilization process):

- تأمين الوصول السريع لمعلومات البناء.
- التأثير كمنصة للسماح لفريق إدارة التسهيلات لمنظومات المبنى بالتوجه إلى داخل المقر.
- السماح بدخول الخبراء عن بعد باستخدام الإنترنت (تتم عملية الولوج للمعلومات على الإنترنت ودخول الخبراء عن بعد إلى نظم BMS باستخدام الإنترنت).

تتضمن عناصر استراتيجية التصحيح التعامل مع قائمة قطع الغيار والتسعير القياسي مع وكلاء المكونات الرئيسية، في هذه الناحية هناك دور ضعيف لأنظمة BMS.

يمثل تحليل السبب الأصل مركبة التغذية العكسية لعملية الصيانة حيث يعتمد هذا التحليل على البيانات السابقة التي تم تجميعها قبل حدوث القصور أو الخلل، فمثلاً: لدى قيام مضخة بالمحافظة على سوية الماء لخزان ما، وتم استقبال إنذار سوية الخزان، فإن تطبيق تحليل الأصل قد يقوم بتحليل النمط الأحدث لعمل المضخة لاقتراح السبب الكامن وراء المشكلة:

- سوية الخزان منخفضة مع عدم تشغيل حديث للمضخة، يمكن أن تكون المشكلة في قواطع أجهزة التحكم بالمضخة، تغذية المضخة بالطاقة، ترك المفتاح Hand/Off/Auto في الوضعية Off.
- سوية الخزان منخفضة مع تشغيل حديث للمضخة: قد تكون المشكلة هي الضخ ضد التيار (أي الماء يغذي المضخة)، تسرب في شبكة الأنابيب، حدوث تسرب في الخزان.
- سوية الخزان مرتفعة مع عدم تشغيل حديث للمضخة: قد تكون المشكلة في حساس المستوى.
- سوية الخزان مرتفعة مع تشغيل حديث للمضخة: قد تكون المشكلة في قطع أجهزة تحكم المضخة أو في ترك المفتاح Hand/Off/Auto على الوضعية Hand اليدوية.

نموذجياً، لم تكن تمتلك أنظمة BMS في الفترة الماضية المدخلات الكافية لإجراء تحليل كامل للسبب الأصل، وقد أتاحت السوية العالية للبيانات المتبادلة حالياً مجالاً واسعاً من المعلومات المثلى لتطبيقات تحليل السبب الأصل.

خاتمة: إن زيادة أداء المبنى إلى الحدود القصوى هي قضية متعددة الأوجه، حيث يمكن أن تكون منظومة إدارة المبنى أداة قيِّمة لعنونة كل من قضايا التحكم والمراقبة المرتبطة به.



الأدوات وأجهزة القياس

تعتمد معظم أدوات وأجهزة القياس إما على المبدأ المغناطيسي أو على مبدأ التحريض الكهرومغناطيسي. تستخدم بعض أجهزة القياس مثل مقياس زاوية الطور، مقياس الاستطاعة، مقياس التردد، مقياس الفولت والأمبير، مبدلاً إلكترونياً ومؤشر ملف متحرك عوضاً عن التأثير المباشر للتحريض. يجب تذكر ذلك أثناء قراءة الفقرات المخصصة لهذه الأجهزة. بالإضافة لذلك، توجد أجهزة تستخدم مبادئ الكهرباء الساكنة، والتسخين والتأثيرات الكيميائية حيث أن لكل من هذه المبادئ تطبيق (أو عدة تطبيقات) خاصة به.

مقاييس التيار ومقاييس الجهد

تخضع مكونات أجهزة القياس العادية المستخدمة لقياس التيار والجهد لنفس المبدأ الأساسي في العمل، ففي معظم الحالات، يتناسب انحراف المؤشر مع التيار المار عبر جهاز القياس، لهذا السبب يمكن اعتبار جميع هذه المقاييس على أنها مقاييس أمبير، لكن في حالة مقياس الفولت (الجهد) فيكفي إضافة مقاومة تسلسلية لجعل القراءة متناسبة مع الجهد على طرفيها. أما أنواع هذه المقاييس فهي:

1. الحديد المتحرك (moving iron) (مناسب للتيار المستمر، وبعضها يناسب التيار المتناوب).

2. ملف مغناطيسي دائم متحرك (permanent magnet moving coil) (مناسب فقط للتيار المستمر).

3a. مقاييس القوة ذات القلب الهوائي والملف المتحرك (air cored dynamometers) (مناسبة للتيارين المستمر والمتناوب)، وتستخدم بشكل خاص في القياسات عالية الدقة.

3b. مقاييس القوة ذات القلب الحديدي والملف المتحرك (iron cored dynamometers) (عادة تناسب التيار المتناوب فقط)، وتستخدم بشكل خاص في القياسات عالية الدقة.

4. الكهرباء الساكنة (electrostatic) (من أجل التيار المتناوب والمستمر ومقاييس الجهد) .

5. التحريض (induction) (مناسب فقط للتيار المتناوب).

6. السلك الساخن (مناسب من أجل التيار المتناوب والمستمر).

تقوم جميع هذه المكونات بقياس القيمة المنتجة، باستثناء النوع ذي الملف المتحرك (الوشيعة المتحركة) والذي يقوم بقياس القيم المتوسطة. لذلك، عند قياس جهود التغذية المقومة (rectified)، و/أو جهود التغذية المتحكم بها عن طريق الثايرستور Thyristor (مقوم ثايرستوري)، من المهم معرفة فيما إذا كان تيار الحمل، على سبيل المثال، مسجل كقيمة وسطية أو قيمة منتجة. تحتاج أحمال التسخين أو الطاقة عادة إلى مؤشرات منتجة بينما تعتمد عمليات شحن البطاريات أو بعض العمليات الإلكتروكيميائية على القيم الوسطية.

على الرغم من خضوع بعض المكونات المذكورة أعلاه للقانون التربيعي (square low)، فإنها ستقرأ قيماً مستمرة، يجب الانتباه إلى أن القيم الظاهرة ما تزال قيماً منتجة (r.m.s).

هذه القيم ستماثل القيم المتوسطة المقاسة عن طريق أجهزة الوشيعة المتحركة فقط إذا كانت التغذية بتيار مستمر d.c ، وبدون أي تموج. يمكن أن يصل الفارق بين القيم التي تؤشر عليها الأجهزة من النوع "الحديد المتحرك" والأجهزة من النوع "الوشيعة

المتحركة"، عند وصلها مع تغذية مقومة أحادية الطور وغير منعمة، إلى أكثر من 11%. لاحظ أنه يمكن استخدام المغانط الدائمة، الوشيعة المتحركة، من أجل التيار المتناوب، شرط عدم دمج المقوم (rectifier) وهذا منوه عنه في مكان آخر.

الدقة (accuracy): تختلف دقة الأدوات المستخدمة في قياس التيار والجهد بشكل اعتيادي حسب نوع وجودة التصنيع، وقد قام المعهد البريطاني للمقاييس BSI بوضع قائمة متدرجة الأنواع من المقاييس، وتم نشرها في المواصفات البريطانية القياسية BS 89. هناك تسعة أصناف من الجودة في BS 89 مشار إليها بوضوح في دليل الصنف، بحيث تجعل المهندس قادراً على شراء الأدوات أو التجهيزات ذات الدقة الكافية لأداء المهمة التي تم شراؤه من أجلها. من أجل الاستخدامات العادية، يمكننا اختيار أحد الأجهزة من الصنف ذي الدقة 1.5 أما الصنف ذو الدقة 2.5 فهو يستخدم في تطبيقات لوحات المفاتيح الكهربائية أو لوحات التحكم حيث تكون هذه الأصناف عادة ذات دقة مقبولة ومناسبة.

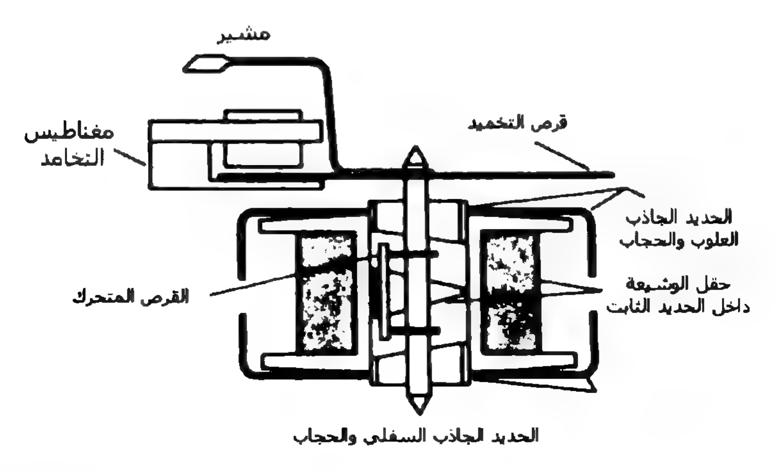
عند تحديد جهاز قياس ما لغرض محدد، من الضروري الإدراك بأن الدقة المتعلقة بدليل الصنف Class Index يمكن الحصول عليها فقط ضمن شروط ضيقة ومحددة.

قد تسبب التغيرات في درجة الحرارة، أو التردد، أو الحقل المغناطيسي ...الخ، خطأ يؤدي إلى تجاوز دليل الصنف، وتتعلق الأخطاء الإضافية المسموح بها بدليل الصنف، ويجب أخذها بعين الاعتبار في ضوء التطبيق الخاص.

حالياً، يقوم العديد من المصنعين بإنتاج أجهزة تأشير، مثل مقاييس الأمبير، مقاييس الفولت، مقاييس الاستطاعة، مزودة بمنصة موازنة. في هذه الأنواع من أجهزة القياس يجتاز المؤشر قوساً في نفس المستوي مع مؤشرات المقياس الفعلي، وهكذا يتم التخلص من خطأ الخيال الجانبي (side shadow)، ومن خطأ اختلاف المنظر (تغاير ظاهري في موقع الأشياء) (parallax error).

أجهزة قياس الحديد المتحرك: هذا النوع من الأجهزة مستخدم عادةً في الصناعة بسبب وثوقيته وانخفاض تكاليفه الأولية. هناك ثلاثة أنواع من أجهزة الحديد المتحرك هي: النوع التجاذبي (attracaction type)، والنوع التنافري (repulsion type)، والنوع

المركب من كلا النوعين السابقين. ترتبط عادةً التدريجات القصيرة (أي انحراف المؤشر بمقدار "90)، بالمقاييس من النوع التنافري، بينما ترتبط التدريجات الطويلة (long scales)) (أي انحراف المؤشر من "180 إلى"240) بالأنواع التجاذبية والتنافرية الشكل (18.1).



الشكل (18.1) رسم تخطيط لحركة الحديد المتحرك. يعتمد مبدأ العمل على مبدأ تركيب التجاذب والتنافر. الحقل المغناطيسي الناجم عن الوشيعة يستقطب هذه العناصر وكذلك الأقراص الحديدية الثابتة والمتحركة

يعتمد مبدأ العمل على قيام وشيعة سلكية بضم التيار الذي نريد قياسه تعمل على جذب أو دفع جزء متحرض (armature) من الحديد اللين والذي يقوم، بدوره، بتدوير إبرة إشارة أو مؤشر. في النوع التجاذبي، يقوم التيار بسحب الحديد ضمن الوشيعة، أما في النوع التنافري، فهناك قطعتان من الحديد داخل الوشيعة، إحداها ثابتة والأخرى متحركة، وكلتا القطعتان ممغنطتان بواسطة التيار، ويسبب التنافر بينهما إلى إدارة المؤشر عن طريق القطعة المتحركة. لذلك من الواضح أن اتجاه التيار داخل الوشيعة غير مهم، وهذا ما يجعل أداة القياس مناسبة لقياس أي شكل للتيار، سواء أكان مستمراً d.c أو متناوباً a.c، بما فيه التيار المتناوب المقوّم، حيث لا

تتأثر الدقة عادةً بأشكال الموجات المشوهة التي يمكن مصادفتها في منظومات التغذية التجارية، لكن يمكن أن تتسبب الأشكال الموجية ذات القمة بإشباع الحديد في الدارة المغناطيسية ويظهر ذلك جلياً من خلال القراءات الخاطئة.

بعض مسببات أخطاء القياس

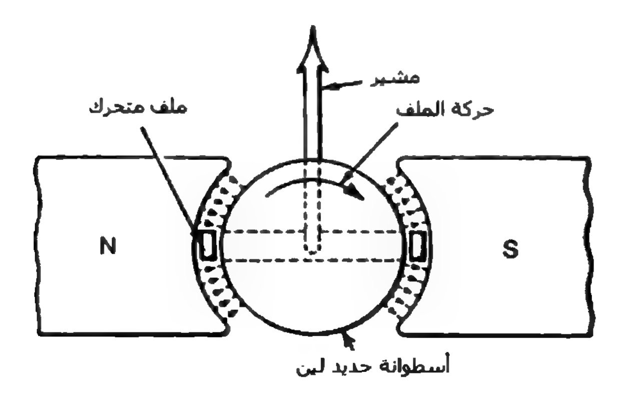
a. *الحقول المغناطيسية الشاردة (stray magnetic fields)*: بسبب الحقيقة القائلة بتناسب الإنحرافات مع الحقل المغناطيسي داخل الوشيعة العاملة، فإن الحقول المغناطيسية الناتجة عن أي مصدر خارجي ستؤثر على الانحراف، ويمكن تقليص الأخطاء الناتجة عن ذلك عن طريق حجاب مغناطيسي (magnetic screening) مناسب.

b. *البطاء المغناطيسي (hysteresis)*: أدى استخدام الحديد المنكل Nickel iron في الدارات المغناطيسية للتجهيزات الحديثة، إلى تقليص الخطأ الناجم عن البطاء المغناطيسي. على سبيل المثال في جهاز من التصنيف 0.5 يمكن استخدامه لكل من dc و ac ضمن ذلك الصنف، لكن استخدام الحديد المنكل غير ممكن دائما نتيجة عوامل أخرى في الأجهزة ذات التدريج الطويل، ولذلك فهذه الأجهزة غير مناسبة للاستخدام مع d.c نظراً لكبر خطأ البطاء المغناطيسي.

c. *التردد (frequency)*: لا تتأثر مقاييس الأمبير كثيراً بالتغيرات الكبيرة على التردد، حيث يقع عادةً خطأ مقداره 1% في مجال الترددات الواقعة بين 50 Hz إلى 400 Hz. تحدث الأخطاء في مقاييس الجهد نتيجة التغير في التردد الناجم عن التناوب في المفاعلة التحريضية للملف والتي تشكل جزءاً معقولاً من الممانعة الكلية، وهنا لا بد من تقليص الخطأ بشكل ملموس عبر وصل سعة بحجم مناسب إلى جانب المقاومة التسلسلية بغية التعويض.

أجهزة الملف المتحرك ضمن مغناطيس دائم: وهي أجهزة d.c بشكل أساسي، ولا تعمل مع دارات a.c إلا في حال اتحادها مع مقوم، وذلك للسماح بمرور تيار وحيد الاتجاه فقط عبر الملف المتحرك، يوضح الشكل (18.2) مبدأ عمل أجهزة الملف المتحرك، حيث تتشكل فجوة هوائية دائرية بواسطة مغناطيس دائم ذي تصميم مناسب، وأسطوانة من الحديد اللين بين الأقطاب، يمكن أن يتحرك الملف المحوري

خلال هذه الفجوة. يقوم الملف المحوري بتحرير التيار (أو جزء منه) المراد قياسه، وإذا كان الحقل في الفجوة الهوائية منتظماً، فإن العزم المتولد سيكون متناسباً مع هذا التيار. يتم التحكم بالانحراف عبر نابض فتل مزود بأداة ضبط مناسبة، ويتم أخذ التيار إلى الملف المتحرك بواسطة هذا النابض أو ملفات نابضية أخرى.



الشكل (18.2) جهاز ملف متحرك ضمن مغناطيس دائم (سلم القياس °90)

تناسب هذه الأجهزة فقط التيارات الصغيرة المستخدمة مع المخدمات (actuators)، ولذا تستخدم المقاومات التسلسلية والتفرعية لتوسيع هذا المجال بشكل مرض. تمتلك الأجهزة القديمة عادةً مجال كامل للقياس بانحراف 1 mA، من أجل مقاييس الفولت (1000 Ω/V)، و75 mV لمقاييس الأمبير المدارة من المفرعات. يمكن احتواء هذه المفرعات ضمن الأجهزة لمجالات تصل حتى 60 A تقريباً، وخارج الأجهزة من أجل مجالات التيار الأعلى. سنتعامل لاحقاً مع الحسابات الفعلية لقيم مقاومات المفرع التسلسلية أو التفرعية حيث سنورد مثالاً عن هذا النوع من الأجهزة. يمكن الحصول على التخميد (damping) بفضل التيارات الإعصارية (eddy currents) المتحرضة في معدن التشكيل المستخدم للحصول على الوشيعة المتحركة. أدى دخول المواد المغناطيسية الجديدة إلى زيادة كثافة الفيض، وتحسين الاستقرار إلى حد كبير. يسمح التخميد المتولد عن السيليكون السائل بالحصول على تأثير أنعم خال من التجاوز كما يسمح بإنقاص وزن العنصر المتحرك. يمكن حالياً وعن طريق

شريط مشدود معلق إنتاج أجهزة بانحراف مقياس تدريج كامل للتيار بقيم أقل من 10 µA.

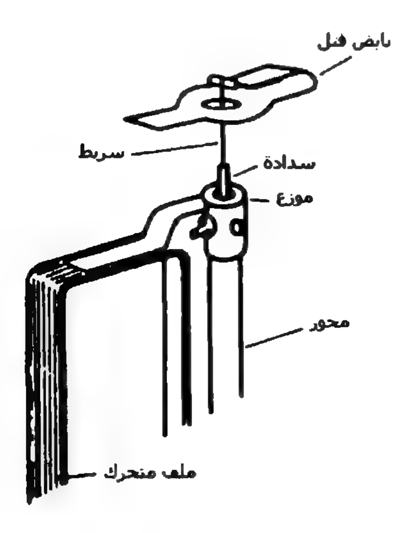
على الرغم من أن أجهزة القياس ذات الشريط المشدود تستخدم بكثرة لمراقبة منابع التغذية المستمرة والمتناوبة، إلا أنه يمكن استخدام هذه الأجهزة لأغراض القراءة في التجهيزات الإلكترونية، كما يمكن استخدامها كحساسات للمقادير الكهربائية والفيزيائية ومؤشرات بعيدة (remote) للموضع على سبيل المثال. يبين الشكل (18.3) تدريج نموذجي لجهاز من النوع ذي الشريط المشدود والمخمد بالسيليكون المائع. التدريج منتظم جداً، ويمكن أن يصنع ليمتد على أقواس قد تصل لـ "250 (زاوية القوس).



الشكل (18.3) ميكرو أمبير مزود بنطاق محكم معلق

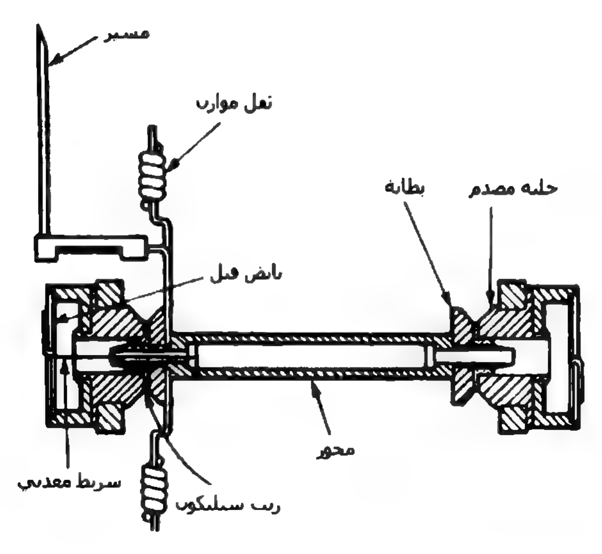
تعليق الشريط المشدود: تم تطوير هذا النوع من التعليق المستخدم في أجهزة القياس من قبل شركة Crompton Instruments في عام 1962. وقد ألغى الحاجة لاستخدام المحاور، والمدحرجات، ونوابض التحكم. في هذا النظام، يتم تعليق العنصر المتحرك بين شريطين معدنيين، بمعدل شريط في كل نهاية للحركة وبفتل هذه الأشرطة،

وانحراف النوابض، يتم توليد قوى تحكم وإرجاع. حيث يتم التخلص نهائياً من احتكاك المضاجع، وبالتالي عدم تواجد أي أجزاء تعاني من التعب أو الاهتراء أو سوء الأداء، يوضح الشكل (18.4) الجزء العلوي للشريط المشدود المتحرك. تعمل السدادات (spigots) في نهاية قبة المحور (الموزع) عند كل نهاية من نهايات العنصر المتحرك للشريط المشدود ضمن تجاويف الخلوص في الجزء المشكل للجلبة من مجموعة الإطار الثابت (fixed frame assembly)، ضمن تجاويف واضحة في جزء التشكيل الجلية من تجميعة الإطار المثبت.



السكل (18.4) الجزء العلوي للشريط المشدود المتحرك

تحقن زيت ذي لزوجة مناسبة في الفجوة المحصورة بين السدادات وتجويف الخلوص، يمكن التحكم بظاهرة الطنين في هذه المجموعة المتحركة، وهذه الطريقة اعتمدت من قبل Crompton Instruments في حصر الزيت ضمن هاتين المساحتين كما هو مبين في الشكل (18.5) يتم زيادة طول السدادات وتثبيت بطانة حلقية أو عزقة من البوليتين المتمدد Expanded Polythene المحدد إلى قبة المحور الخارجية، ويتم تثبيت عزقة مشابهة إلى النهاية الأمامية لجلبة التركيب.

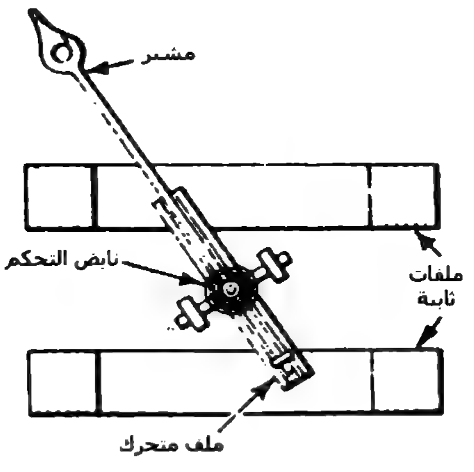


الشكل (18.5) حركة الشريط المشدود Hi-Q

يتم حقن زيت التخميد بين البطانات والسدادة، ويؤدي الزيت عدداً من المهام الأخرى، فهو يؤمن فعل التخميد المطلوب لإعادة النظام المتحرك بسرعة إلى وضعية الراحة في وضعية الانحراف. وهنا تنتفي الحاجة لأي شكل آخر من أشكال التخميد وهذا ما يؤدي للحصول على مجموعات خفيفة جداً، لذلك تتحسن نسبة العزم/الوزن، وبالتالي نتمكن من إنتاج أجهزة ذات حساسية عالية. يتم تخفيف زمن الاستجابة بشكل ملحوظ أيضاً مقارنةً مع الأجهزة ذات المحاور، هناك عامل مهم هو إمكانية قيام بطانة حجب الزيت بدور ماص للصدمات مبني داخلياً (built-in)، في آخر شكل من حركة Hi-Q الشكل (18.5)، تم التخلص نهائياً من الوصلات بين الأشرطة الموجودة في كل نهاية، والعمود المحوري. يقوم شريط واحد ribbon بالحركة بشكل فاعل من نابض فتل لآخر، مشكلاً مع صفيحة تحديد وتقسية معدنية القلب المركزي لمحور قالب حقن بالنايلون، تقوم أغطية نهايات مصنعة من الألمنيوم، وتم ملاءمتها مع عمود الدوران، بحمل بطاقة التخميد الماصة

للصدمات كما تقوم بحمل المؤشر وأذرعِ موازنة الحمل وذلك في إحدى النهايات. في أجهزة الوشيعة المتحركة، تقوم أيضاً بحمل أقواس تركيب الوشيعة، بينما في منظومات الحديد المتحرك، يتم تمديد محور الحقن بالقالب بشكل قطري لتأمين تثبيت الحديد المتحرك.

أجهزة قائسات القوة ذات الوشيعة المتحركة: عوضاً عن المغناطيس الدائم المستخدم في النوع السابق لأجهزة القياس ذات الوشيعة المتحركة، يمكن تأمين الحقل المغناطيسي الضروري عن طريق تمرير التيار عبر وشائع ثابتة كما هو مبين في الشكل (18.6). وبالتالي تتواجد مجموعتان من الوشائع إحداهما ثابتة والأخرى دوارة، لذلك فإن العزم الناتج سيتناسب مع مربع التيار مما سيجعل هذا الجهاز مناسباً لكل من التيارين المتناوب والمستمر.



الشكل (18.6) جهاز مقياس القدرة (dynamometer) بملف متحرك

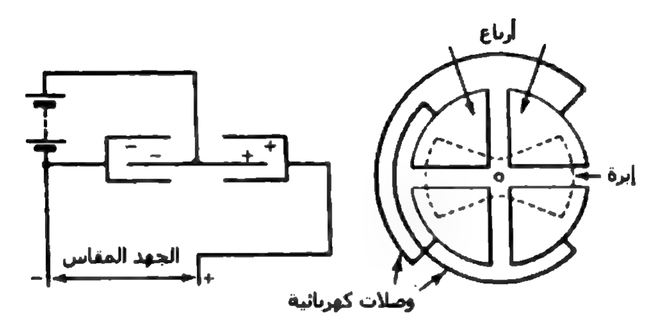
في مقاييس الأمبير، يتم وصل النظامين على التفرع عادةً، مع مقاومة مناسبة، أما في حالة مقياس الفولت فيوصلان على التسلسل، تكون الأسلاك الواصلة إلى الوشيعة المتحركة على شكل نوابض لولبية، وهي تؤثر كذلك كأداة تحكم بالعزم، وفي هذه

الحالة يجب أن يتم تأمين التخميد عن طريق بعض أدوات التخميد، على سبيل المثال قرص من الألمنيوم مع مغناطيس كابح.

بسبب ضرورة المحافظة على انخفاض التيار في الوشيعة المتحركة، يمكن أن يكون العزم الناتج صغيراً، وبالتالي فإن هذه الأجهزة لا تستخدم خارج نطاق الأغراض الصناعية العامة، وهي مفيدة بشكل خاص في المختبرات من أجل أجهزة التحويل dc/ac. يمكن أن يتم اختبار المعايرة على dc باستخدام مقسّم جهد (potentiometer)، وبالتالي إذا اقتضى الأمر، بالاشتراك مع محولات بدقة معلومة، يمكن أن تستخدم كمرجع معياري في اختبار أجهزة ac الأخرى، أجهزة الحديد المتحرك (moving iron) حيث يمكن لخطأ d.c/a.c أن يكون كبيراً أو غير معلوم. عند استخدامها، يجب الحرص على عدم تأثرها بالحقول المغناطيسية الشاردة. يستخدم جهاز الدنيامومتر (مقياس القوة) من ناحية أخرى بكثرة كجهاز قياس استطاعة (مقياس واط).

أجهزة فولت الإلكتروستاتيكية: إن أجهزة القياس الإلكتروستاتيكية هي بشكل أساسي مقاييس الفولت، وهي تعمل وفق مبدأ التجاذب أو التنافر بين جسمين مشحونين، ولها بعض التطبيقات في المختبرات حيث لا تتأثر بالشروط والتغيرات التي تؤدي إلى أخطاء في العديد من الأجهزة الأخرى، بما فيها الأخطاء الناجمة عن التيارات الاعصارية Eddy Currents أو البطاء المغناطيسي Hysteresis، وكذلك الأخطاء الناجمة عن التقلبات في تردد وشكل الموجة التي تؤدي إلى قراءات غير صحيحة لأجهزة القياس الإلكتروستاتيكية.

عند الجهود العادية، يكون العزم صغيراً، وبالتالي يمكن استخدام أجهزة قياس متعددة الأقراص، ولهذا السبب، من ناحية ثانية، تكون هذه الأجهزة مثالية لقياس الجهود العالية، وتعتبر بشكل خاص الطريقة الوحيدة للدلالة على تجاوز الجهد حاجز 100 kV. من أجل الجهود الأدنى، من 400 V وحتى بضعة آلاف من الفولت، يستخدم النوع التربيعي (quadrant type) الذي يوضح الشكل (18.7) مبدأ عمله حيث يتم تدوير شفرة التوجيه المتحركة (van) ويتم جذبها أو ردها أو الاثنين معاً عن طريق شحنات شفرة التوجيه والأرباع Quadrants وهذه الشحنات متناسبة مع الجهد الناتج عن وصلها إلى التغذية.



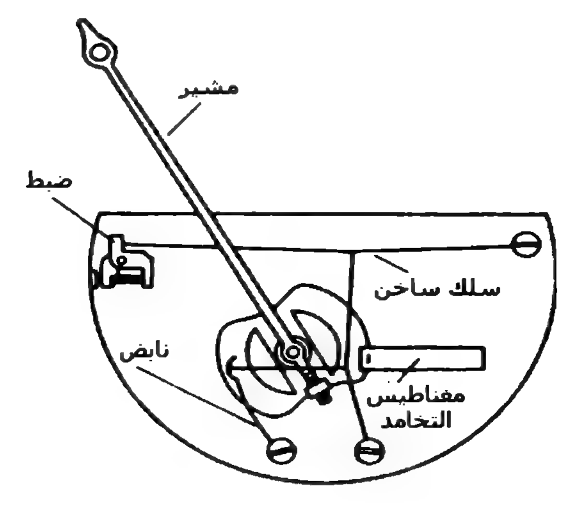
الشكل (18.7) مقياس فولت تربيعي

في النماذج التجارية، يتم استخدام عدة مجموعات من شفرات التوجيه على التوازي بغية الحصول على العزم الكافي، يقاس الجهد إبتداء من 100 kV وما فوق بواسطة قرصين يشكلان فيما بينهما نسخة هوائية، حيث يثبت أحدهما ويتحرك الآخر بشكل محوري، وعن طريق موازنتهما يتم قياس القوة بين هذين القرصين ويتم تأشير مقياس التوازن بواحدة kV.

هذه المقاييس، بالطبع، غير دقيقة للدرجة التي تجعلها مناسبة للدلالة على خط الجهود أو لتطبيقات لوحات المفاتيح الكهربائية، ولكنها من ناحية ثانية مثالية للاختبارات، حيث تكون الكبلات أو الأدوات الأخرى عرضة للجهود العالية والاختبارات الإتلافية. في هذه الحالة، تشكل هذه الأجهزة مؤشراً للدلالة الجهد المطبق وتقوم باختبار القيم التي تشير إليها أجهزة القياس والمركبة على أجهزة رفع الجهد.

اصطلح على تسمية أجهزة القياس الإلكتروستاتيكية المعدة للاستخدامات المخبرية باسم Electrometeres مقاييس الجهد الكهربائي الساكن، وهي عادةً من النوع المعلق مع تدريجات قياس مزودة بمرآة عاكسة، وبما أن استهلاك هذه المقاييس للطاقة في a.c مهمل، فهي تمتاز بعدم تأثرها بحالة أي دارة توصل معها، والاستثناء طبعاً هو حالة قياسات الترددات الراديوية Radio-frequency.

أجهزة قياس السلك الساخن: يجتاز التيار المراد قياسه، أو جزء منه، سلكاً رفيعاً بحيث يؤدي الأثر الحراري لهذا التيار المار إلى تمدد السلك، فإذا كانت مقاومة السلك ثابتة، وعامل التمدد الحراري للسلك ثابت أيضاً، فإن حرارة السلك والتمدد الناتج سيتناسبان طرداً مع مربع التيار. فإذا كان التمدد كافياً، فإنه وعن طريق بعض التوصيلات الملائمة كما هو مبين في الشكل (18.8) يمكن تحريك المؤشر بحركة تتناسب مع مربع التيار أيضاً، وبالتالي وعبر سلم قياس مناسب، يمكن تحديد قيمة التيار المار.



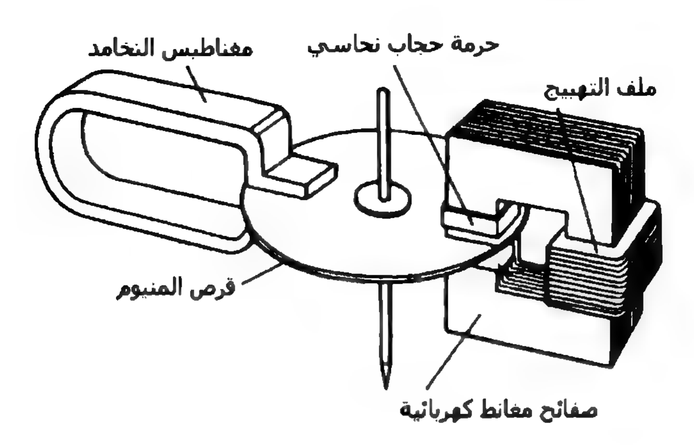
الشكل (18.8) جهاز السلك الساخن

بسبب خضوع مثل هذه الأجهزة للقانون التربيعي، فهي تناسب كلاً من نظم التيار المتناوب a.c والتيار المستمر d.c. علاوة على ذلك، ولأنها تعمل بالأثر الحراري فقط، فإن قيم متوسط الجذور التربيعية للتيار المتناوب تقاس بصرف النظر عن التردد أو شكل الموجة، وهي لا تتأثر كذلك بالحقول المغناطيسية الضائعة.

أجهزة القياس التحريضية: يمكن استخدام هذه الأجهزة، والتي تعمل فقط من أجل التيار المتناوب a.c، في مقاييس الأمبير أو مقاييس الفولت، غير أن استخدامها في

قياس هاتين الكميتين هو أقل بكثير من استخدامها في مقاييس الاستطاعة أو مقاييس القدرة. في جميع أجهزة القياس التحريضية، يكون عزم المنظومة المتحركة ناتجاً عن رد فعل الفيض المتولد بواسطة التيار المطلوب قياسه، مقابل الفيض الناتج عن التيارات الإعصارية المارة ضمن القرص أو الأسطوانة المعدنية، وفيض التيار الإعصاري هذا، والناتج أيضاً عن التيار، يتم ترتيبه ليكون مختلفاً في الطور مع فيض التيار المراد قياسه.

هناك طريقتان يمكن من خلالهما الحصول على هذه الفيوض. تقوم الطريقة الأولى على مبدأ استخدام مجموعتين من الملفات بزاويا صحيحة مع دائر أسطواني الشكل. أما الطريقة الأخرى فتعتمد على استخدام مبدأ القطب المحجوب (shaded-pole) (الشكل 18.9) وكخيار بديل، يمكن استخدام حقلين مغناطيسيين يؤثران على القرص.



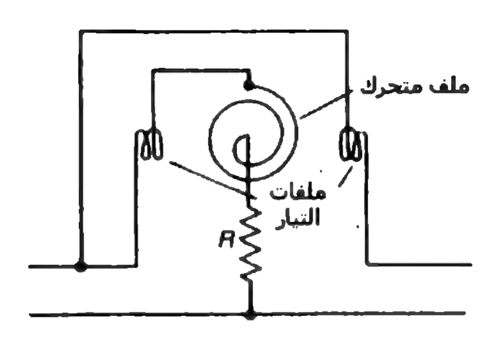
الشكل (18.9) مبدأ المقياس التحريضي

على الرغم من كونها شديدة البساطة، ولا تحتاج لأية توصيلات مع الجزء الدائر، إلا أنها ذات سلبيات كبيرة تمنع استخدامها كمقاييس أمبير أو فولت في الأغراض

العامة، أما الإيجابيات التي في صالحها فهي سلم القياس الطويل، والتخميد الجيد، والتحرر من تأثير ضياع الحقل، أما سلبياتها فتتضمن أخطاء جدية نتيجة تغير التردد ودرجة الحرارة، والاستهلاك العالي للطاقة، والكلفة المرتفعة. يمكن التخفيف من السيئة الأخيرة عن طريق تعويض مناسب، لكن في التجهيزات التجارية العادية، يظل التغاير هاماً على الرغم من إمكانية تغذية أجهزة الصنف 1 إذا اقتضت الحاجة.

مقاييس الاستطاعة (واط)

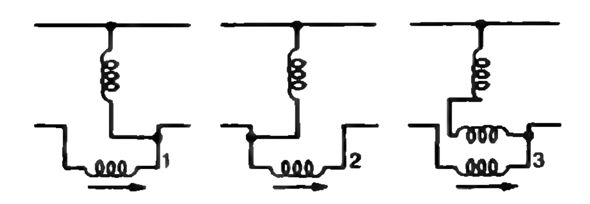
مقاييس الاستطاعة من نوع قائس القوة: يقدم مقياس الواط من نوع القلب الهوائي قراءات صحيحة لكل من التيار المتناوب والتيار المستمر، وهو يتألف من دارة ثابتة تنقل التيار، ودارة متحركة لتمثيل جهد الدارة، من أجل التجهيزات المخبرية، يمكن أن يتخذ المقياس أحد النوعين، نوع الوشيعة المعلقة (suspended) أو المتمحورة (pivoted)، يمكن استخدام النوع الأول كمقياس استطاعة عياري، لكن الوشيعة المتمحورة ذات طيف عريض من حيث ملاءمتها للقياس المباشر الشكل (18.10). مقاييس واط ذات سلم القياس الطويل هي من النوع ذي القلب الحديدي وهي غير مناسبة عادةً للاستخدام مع التيارات المستمرة بسبب كبر خطأ البطاء المغناطيسي.



الشكل (18.10) مقياس استطاعة من نوع دينامومتر

يصبح التعويض ضرورياً في القياسات الدقيقة لمقاييس الاستطاعة ذات المجال الصغير، وهذا التعويض يتم عبر مرور التيار في الدارات الأخرى عن طريق إضافة ملفات تعويض لدارة أخرى.

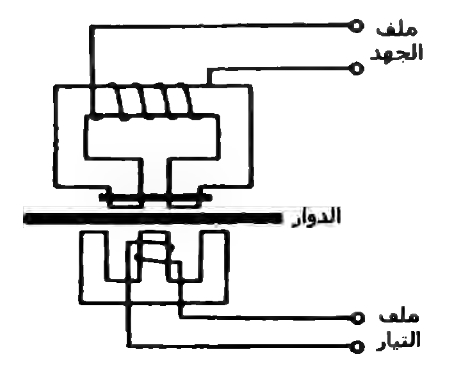
يمكن رؤية ذلك في الشكل (18.11) حيث تولد التوصيلات (1) ، (2) أخطاء ناجمة عن التيار الفائض في وشيعة التيار (1)، وهبوط الجهد في وشيعة التيار (2)، وسنرى بأنه يمكن التغلب على هذه الأخطاء في النظام (3). تتأثر مقاييس الواط من نوع قائسات القوة (dynamometer) بالحقول الشاردة (التشويشية)، وهذا صحيح من أجل كلاً من التيارات المستمرة والمتناوبة، ولكن تؤثر الحقول الشاردة على القراءات فقط، ويمكن تجنب ذلك عن طريق استخدام بنية ساكنة من أجل الأجهزة المخبرية وعن طريق الحجب (shielding) بالنسبة للأنواع المحمولة. وقد أدى استخدام الحديد المنكل ذي النفوذية العالية في مقاييس الاستطاعة الحديثة إلى عدم تأثرها عملياً بالحقول الشاردة في الاستخدامات العامة.



الشكل (18.11) مقاييس استطاعة غير معوضة (1 و 2) ومعوضة (3)

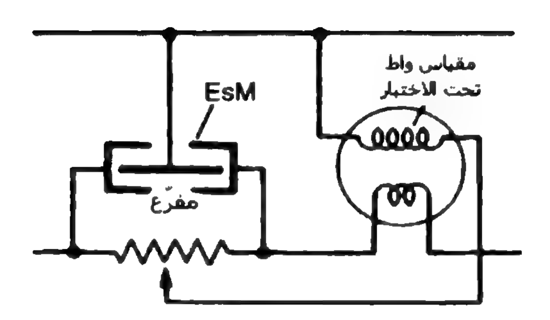
عند شراء هذا النوع من مقاييس الاستطاعة، ينصح الأخذ بعين الاعتبار بأن عامل الأمان المرتفع يستخدم فيما يتعلق بمعدل ملفات الجهاز، وهذا مستحب من وجهة نظر إمكانية التحميل الزائد لأي من مجالات الأجهزة متعددة المجالات. لكنه كذلك يتيح التأشير باتجاه كامل المجال حتى من أجل عوامل الاستطاعة المتدنية. إن التحجيب الكافي بين المقطعين ضروري في مقاييس الاستطاعة ثلاثية الطور، حتى إن لم نتمكن من تقديم الدقة نفسها كما في النماذج أحادية الطور.

مقاييس واط التحريضية (induction wattmeters): يمكن استخدام هذه المقاييس فقط من أجل التيار المتناوب وهي تشابه مقاييس القدرة من النوع التحريضي، حيث يعمل في هذه الحالة قرص دوار في مواجهة نابض الفتل، تشابه الدارتان مقياس القدرة التحريضي وتكون التوصيلات كما هو مبين في الشكل (18.12). على الرغم من تأثر النوع السابق بتغيرات درجة الحرارة والتردد، فإنه يتم تعويض ذلك عن طريق تغيير مقاومة القرص الدوار (الذي يعاكس في تأثيره الآثار على الملفات)، وهذا الأخير غير مهم ولا يؤخذ بعين الاعتبار مع التغيرات في التردد التي تحدث عادةً.



الشكل (18.12) مقاييس استطاعة من النوع التحريضي. البنية والمبدأ مشابهة لمقاييس القدرة

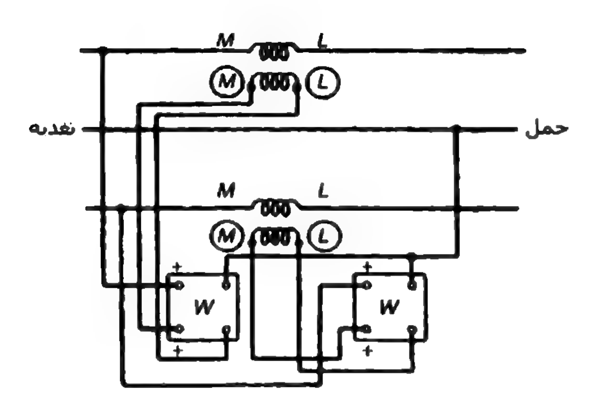
يجب عدم استخدام مقاييس واط التحريضية طبعاً على أي تردد آخر غير التردد المصممة من أجله إلا في بعض التصاميم الخاصة المزودة بتوصيلات مناسبة. البنية العامة لمقاييس الاستطاعة تجعلها موثوقة ومتينة، وهي ذات ميزات محدودة لدى استخدامها في لوحات المفاتيح الكهربائية حيث يكون سلم القياس على قوس بزاوية "300 أو أكثر. كما في أنواع مقاييس القوة Dynamometers، فإن مقياس واط ثلاثي الطور ثنائي العنصر غير دقيق كما في أنواع المقاييس أحادية الطور.



الشكل (18.13) مقياس استطاعة الكتروستاتيكي يستخدم لأغراض المعايرة

مقاييس واط ثلاثية الطور: تعمل هذه المقاييس وفق مبدأي مقياس الاستطاعة، حيث يمكن أن يكون العنصران الدواران مرتبطان ميكانيكياً لتقديم مجموع عزوم العنصرين، كما ورد قبل قليل من الضروري تجنب أي تداخل بين المقطعين، وهناك طرق عدة لمنع هذا التداخل، إحداها يتم عبر استخدام مقاومة تعديل في توصيلة ملفات الجهد، والأخرى تنتج بسبب Drysdale وهو تركيب الملفين المتحركين (لنوع قائس القوة) بشكل متعامد فيما بينهما.

قياس الطاقة ثلاثية الطور: تعطى توصيلات أجهزة القياس الموصولة مؤقتاً لقياس الطاقة ثلاثية الطور في الشكل (1.18). صممت معظم مقاييس الاستطاعة المحمولة من أجل تيار أعظمي قدره 5 A، وهي مستخدمة من أجل محولات التيار. إذا تم ربط مقياس واط مع محولات كما هو مبين في الشكل (18.14)، فإن المجموع الجبري لقراءات مقياس واط مضروباً بنسبة التحويل سينتج الطاقة الكلية للدارة ثلاثية الطور. في معظم اختبارات استهلاك الطاقة للمحركات ثلاثية الطور، يعطي مقياس واط وحيد دقة كافية إذا وصل بشكل مناسب وذلك بسبب موازنة أحمال المحركات بشكل تقريبي، في هذه الحالة فإن الطاقة الإجمالية ثلاثية الطور هي ثلاثة أضعاف قراءة مقياس واط مضروبة بنسبة التحويل.



الشكل (18.14) طريقة استخدام مقياس استطاعة لقياس الاستطاعة ثلاثية الطور

أما إذا لم تكن التغذية متوازنة وتتم بثلاثة أسلاك 3-wire دون الحيادي، فإننا سنحتاج لوجود محولي تيار، تتضمن التغذية ثلاثية الطور عادةً خط حيادي من أجل دارات الإنارة إذا تمت تغذية المنشأة المستهلكة للطاقة من محطة محلية فرعية في العمل فإن نقطة تأريض الحيادي ستكون كهربائياً قريبة جداً من موقع القياس، ضمن هذا الشرط، يمكن قياس الطاقة ثلاثية الطور في الدارات المتوازنة عن طريق وصل مقياس واط–جهد بين خط تغذية وشيعة التيار للجهاز والأرضي، حيث يكافئ الوصل مع الأرضي من الناحية الكهربائية الوصل مع حيادي التغذية، عندما تكون المنشأة المستهلكة للطاقة بعيدة بعض الشيء عن المحطة الفرعية، يمكن أن يتواجد فرق كبير في الجهد بين حيادي التغذية والأرضي. في هذه الحالة تكون الطريقة التالية مناسبة جداً، قم بوصل أحد مرابط الجهد لمقياس واط إلى الخط بالطريقة الاعتيادية، وإلى المربط الآخر، قم بربط وصلة مفردة مرتبطة مع إحدى نهايات ملائم (lampholder) والآن يمكننا ربط دارة الجهد إلى أرضي التغذية في الحامل (holder) وذلك بإدخال الملائم (adapter) مع حامل المصباح المفصول.

أنظمة محول/دليل الطاقة: تستطيع ميزة محول الطاقة الكهربائية المستخدم في أجهزة القياس ذات الوشيعة المتحركة المتحكم بها عن بعد أو المحلية، التأشير إلى بعض المتحولات كالتردد، والاستطاعة، Watt، VArs، زاوية الطور، تيار وجهد ac، الوضع،

الوزن، درجة الحرارة، ...، الخ. تؤمن محولات الطاقة ذات الحمل المستقل إشارة تحكم عن بعد للمشير، لمسجلات البيانات، الحواسيب، أنظمة التحكم، ...، الخ.

أجهزة قياس بلازما النيون التشابهية (neon plasma analogue instruments): تم ربط أحدث دارات CMOS مع لوحة عرض من نوع plasma بوساطة شركة Crompton Instruments لإعطاء مؤشر تشابهي (قياس تمثيلي) للكمية التي نقوم بقياسها، وقد تم تطبيق ذلك على مجال واسع من المقاييس، بما فيها مقاييس أمبير وفولت ومقاييس Kilowatt وشاشات العرض الزاوية، تتمتع هذه المقاييس بقابلية ممتازة للقراءة حتى في شروط الإضاءة الضعيفة، وقد تم إنجاز ذلك بترتيب سلسلة من قضبان بلازما النيون ضمن شريط وإضاءة هذه السلسلة بشكل متعاقب، وبالتالي فإن العمود الناتج سيتناسب مع إشارة الدخل، وسيبدو العمود على شكل قضيب مستمر وسيكون مرئياً بوضوح من خلال زاوية رؤية واسعة. تتوفر نسخة من هذا المقياس من النوع مؤشر/متحكم (indicator-controller) مزود بمجموعة نقاط ذات قابلية ضغط عالية ومنخفضة، فعندما تتحرك إشارة الدخل خارج الحدود المختارة، فإن ذلك سيشاهد بوضوح، ويمكن عندئذ إقلاع تجهيزات تحكم أو إنذار عن طريق ريليات الخرج، تناسب هذه الأجهزة بشكل جيد معظم تطبيقات القياس التي تتطلب دقة ووثوقية عالية، وهي مثالية عندما يعتبر وجود الغبار أو الاهتزازات مشكلة، أو حين تكون شروط الإضاءة المحيطية منخفضة الدقة هي من الصنف 1 بالنسبة لـ BS 89 وDIN 43780 وTEC 51.

مقاييس فولت الصمامية Valve Voltmeters

تتكون هذه المقاييس بشكل أساسي من صمام تأين حراري يتم وصل ميلليمترات منه في دارة المصعد (القطب الموجب) أما الجهد المراد قياسه، فيتم تطبيقه عادةً على دارة شبكة التحكم وهذا يفرض حمل صغير جداً على الدارة حتى عند الترددات العالية. بالرغم من امتلاك التصميم الأولي لمقياس فولت الصمامي مجال عمل محدد، يمكن توسيع ذلك باستخدام مقسم جهد. كما تم الإشارة إليه أعلاه، لا يستهلك مقياس فولت الصمامي عملياً أي طاقة، من المصدر قيد الاختبار ويشكل ذلك أحد

العوامل الهامة في قياس الجهود في دارة الراديو. إن القائس ذا الوشيعة المتحركة لا يهتم عادةً بالحساسية، فهو يستجر دائماً بعض الطاقة من الدارة قيد الاختبار. في الدارات التي يتوفر فيها فيض في الطاقة، فإن ذلك ليس خطيراً، ولكن عند التعامل مع دارة يكون الحمل فيها من مرتبة بضعة ميكروأمبير μA فإن ذلك سيؤثر بشكل جدي على دقة القراءة، عندئذ يجب استخدام مقياس فولت الصمامي. لدى مقارنة الحمل المفروض على دارة a.c بواسطة مقياس فولت ذي وشيعة متحركة، من الضروري أخذ التردد بعين الاعتبار، وذلك بسبب الحساسية التي تملكها هذه المقاييس العالية للتردد، في المقام الأول يجب أن تعاير عند تردد محدد وبالتالي سوف تقيس التيار المتناوب بدقة عند هذا التردد فقط. هناك ميزة هامة جداً لمقياس فولت الصمامي وهي إمكانية تصميمه لتغطية أي تردد. تلائم، الأجهزة المصنعة على المستوى التجاري جميع الترددات التي تصل إلى 50 MHz فما فوق، ثانياً، يستخدم مقياس فولت الصمامي غالباً في دارات الجهد المنخفض، وبالتالي فإن ممانعة دخله يمكن أن تقارن فقط مع مقاييس الوشيعة المتحركة التي تم ضبطها لمجال مخصص، وهذا يعني عادةً استحالة تحديد الجهد المنخفض وبدقة في مقاييس الوشيعة المتحركة ذات مجال الجهد المرتفع.

من ناحية ثانية، يحافظ مقياس فولت الصمامي على ممانعة عالية لجميع مجالاته، وهو في الواقع النوع الوحيد من الأجهزة المستخدمة لقياس الترددات الراديوية منخفضة الجهد، يمكن أن نجد تطبيق إضافي للصمام المؤين حرارياً في قياسات الجهد في مقياس فولت ثنائي الذرى Diod peak voltmeter عندما يتم وصل جهاز قياس من هذا النوع إلى مصدر متناوب فإن عملية التعديل تحدث في الديود لكل نصف موجة تغير شحن مكثفة في خرج الدارة إلى قيمة ذروة الموجة شرط أن تكون ممانعة مقياس الفولت في الدارة عالية وكبيرة بالقدر الكافي لمنع فقدان الشحنة ضمن المقياس عندما لا يقوم المعدل بتمرير التيار، وسوف تدل قراءة العداد إلى جهة الذروة بغض النظر عن شكل الموجة. نقطة هامة يجب ملاحظتها أنه يمكن قياس الإشارات المتناوبة فقط، أو المستمرة فقط، أو الإشارات المستمرة والمتناوبة بواسطة الأنواع المختلفة لمقاييس فولت الصمامية المنتشرة حالياً.

يزود مقياس فولت الصمامي المستخدم في دارة متناوبة بمكثفة حاجزة (blocking capacitor) مدمجة في داخله، ولا يمكن استخدامه من أجل التيار المستمر، ومع هذا فإن المشكلة ليست صعبة حيث يمكننا قصر دارة المكثفة عند الضرورة من أجل قياسات التيار المستمر.

بسبب الجهد الثابت على الشبكة في حالة d.c فإن المعايرة ستتأثر، وفي هذه الحالة يتم أحياناً إدخال مقاومة بين مربط دخل d.c ومدى مقسم جهد وذلك لتعويض الارتفاع في الحساسية وهكذا فإن معايرة القياس متشابهة في كلا نوعي القياسات .d.c. a.c

المقاومات التفرعية والتسلسلية

يمكن تخفيض التيار المار في الدارات المختلفة لجهاز قياس ما، أو التحكم به وذلك إما بواسطة المقاومات (الحالة المتناوبة a.c والمستمرة d.c) أو باستخدام المحولات (في الحالات المتناوبة فقط).

المقاومة التفرعية: يصطلح على تسمية المقاومات غير التحريضية لزيادة مجال مقاييس أمبير بالمقاومات التفرعية Shunts والتي يتم وصلها كما هو موضح بالشكل (18.15)، ويمكن حساب قيمها النسبية اللازمة للحصول على النتيجة المرغوبة وذلك على النحو التالي:

ليكن:

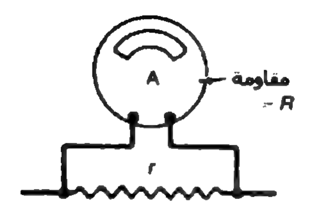
R – مقاومة مقياس الأمبير

R – المقاومة التفرعية

I – التيار الكلي في الدارة

i_a – التيار في مقياس الأمبير

i_s – التيار في المقاومة التفرعية



الشكل (18.15) المقاومة التفرعية لمقياس أمبير

لدينا $I = i_a + i_s$ ، وبما أن هبوط الجهد على طرفي العداد والمقاومة التفرعية ثابت، نحصل على:

$$i_a . R = i_s . r$$

إذاً:

$$i_a = i_s \frac{r}{R} = I \frac{r}{R + r}$$

أو

$$I = i_a \frac{R + r}{r} = i_a \frac{r}{R} + 1$$

يسمى التعبير $\frac{R}{r} + 1$ بقوة المضروب للمقاومة التفرعية.

كمثال، لنأخذ حالة قائس يقرأ حتى القيمة 5 A مزود بمقاومة قدرها 0.02 Ω، أحسب المقاومة التفرعية اللازمة حتى يصل التيار في الدارة إلى 100 A.

بما أن التيار الكلي يجب أن يكون 20 = 100/5 ضعف خلال العداد، فإن المقاومة التفرعية يجب تحميلها 19 مرة، وبالتالي فإن مقاومته يجب أن تكون 1/19 من مقاومة العداد، وبالتالي فإن المقاومة التفرعية ستكون 0.02 / 19 = 0.00105 Ω.

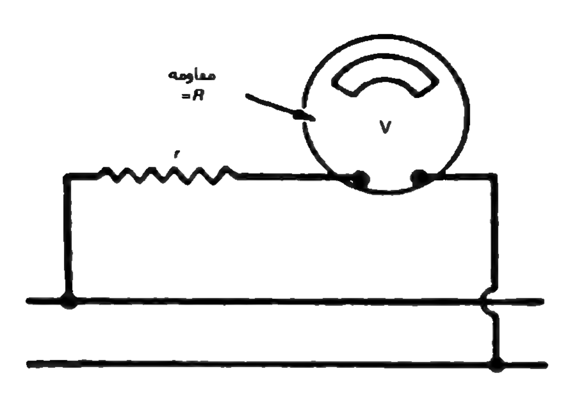
المقاومات التسلسلية: في حالة مقياس فولت، غالباً ما يكون السماح لكامل الجهد بالوصول إلى ملفات الجهاز عديم الجدوى، على سبيل المثال، لحالة مقياس الفولت

ذي الملف المتحرك، سيكون التيار في الملف المتحرك بشكل طبيعي 0.01A، ومقاومته ربما تتخذ القيمة Ω 100 فقط، وأما إذا أعد هذا الجهاز للاستخدام من أجل 100 V، فإنه من الأساسي وصل مقاومة تسلسلية كما هو مبين في الشكل (18.16). العلاقة بين الجهد الكلي وجهد العداد هي علاقة بسيطة كما هي العلاقة بين جهدين موصولين على التسلسل، وهكذا في الحالة أعلاه، سيكون تيار سلم القياس الكامل 0.01 A، ولهذا فإن المقاومة الكلية المقابلة لجهد 100 V، يجب أن تكون 100/0.01 أو 10000. إذا كانت مقاومة دارة العداد وأطراف توصيلها بمقدار Ω 100، فإن المقاومة التسلسلية أو المضافة يجب أن تكون Ω 9900=100-10000، قوة المضروب Multiplying Power هي النسبة فيما بين الجهد الكلي على طرفي الجهاز والجهد على طرفي الملف فقط، فإذا كانت:

R: مقاومة العداد.

R: قيمة المقاومة التسلسلية.

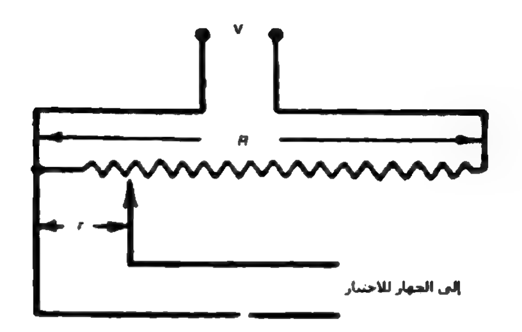
فإن قوة المضروب = $\frac{R+r}{R}$



الشكل (18.16) مقاومة تسلسلية لمقياس فولت

بنية المقاومات التفرعية والتسلسلية: تتكون المفرعات (shunts) عادةً من شرائط من مادة المنغنين* Manganin تلحم إلى الكتل في الطرفين عند كل نهاية ومرتبة بحيث تسمح بدوران الهواء بين الأشرطة بهدف التبريد. كما هي الحال في مفرع مقياس الأمبير، فإن ممانعة المقاومة التسلسلية المستخدمة في مقياس الفولت يجب أن تبقى ثابتة من أجل الترددات المختلفة، أي يجب ألا يتغير التحريض، لهذا السبب، غالباً ما يتم لف ملفات المقاومة (من المنغنين) حول أشرطة منبسطة من الميكا لتخفيض المساحة المحصورة بواسطة الأسلاك، ومن ثم تخفيض الفيض المغلق من أجل تيار معطى.

مقسم الجهد (voltage divider): يمكن استخدام مقسم الجهد أو صناديق الفولت (volt-boxes) بدقة في أجهزة الاختبار أو في أجهزة القياس التي لا تستجر أي تيار، أو مع الأجهزة الإلكتروستاتيكية. الحالة الأولى للأداة تتعلق بالاختبارات وتستخدم مبدأ الانحراف المعدوم أو الصفري للموازنة أو أخذ القراءات، بينما لا تتخذ القائسات الإلكتروستاتيكية أي تيار بالفعل. يبين الشكل (18.17) مبدأ مقسم الجهد، حيث يتم وصل الجهد المراد قياسه إلى طرفي المقاومة R وتأخذ توصيلات القياس في جزء (fraction) ما من هذه المقاومة كما هو مبين في الشكل. تعطى النسبة بالعلاقة R/r.



الشكل (18.17) مقسم جهد

* وهي سبيكة من النحاس والنيكل والمنغنيز تستخدم عادةً في إنتاج مقاومات عيارية وذلك لصغر معامل مقاومتها الحرارية

هناك ترتيبات مشابهة (مقسمات جهد) متوفرة بواسطة المكثفات للاستخدام مع الأجهزة الإلكتروستاتيكية، ولكن الطريقة معقدة بعض الشيء بسبب التغير في سعة جهاز القياس لدى تحرك الريش (vanes).

محولات التيار والجهد

مبادئ القياس السابقة قابلة للتطبيق في نظم الجهد العالي، القدرة العالية، والنظم المستخدمة في التغذية الكهربائية والصناعة، كما تستخدم في التطبيقات المنزلية لتغذيات تصل حتى 50 A عند 230 V. من أجل نظم الجهد العالي والاستطاعة العالية، يجب تخفيض قيم الجهود والتيارات إلى المستويات التي تسمح بإدخالها إلى أجهزة القياس (يجب استخدام وسائط مشابهة أيضاً لتخفيض إشارات الجهد والتيار لتناسب المستوى الذي يجعلها دخل لريليات الحماية). بشكل ثابت تقريباً، يمكن تحقيق هذا التغيير، باستخدام محولات الجهد (VTs) أو محولات التيار (CTs) وفق ما هو مناسب. هذه المحولات تتشابه في الجوهر مع المحولات الأخرى باستثناء أنها مصممة بشكل خاص لكي تمتلك نسب تحويل دقيقة جداً.

في حالة محولات الجهد، يتم تحسين التصاميم إلى أبعد مدى ممكن لتأمين نسب جهود دقيقة، بينما في محولات التيار، فإن الأولوية لنسبة تيار دقيقة.

يتم تحديد محولات التيار بموجب المواصفة البريطانية BS EN 60044-1 ومحولات الجهد بموجب المواصفة BS 3941. تتراوح نسبة الدقة في حالة محولات التيار بين 0.1 حتى 3%، وتحدد وفق الغرض المخصصة له، مع فرق في الطور فيما بين الكميات الأولية والثانوية يتراوح من 10 إلى 120 دقيقة. في محولات الجهد، يُسمح بنسبة أخطاء مشابهة، لكن الأخطاء المسموح بها في فرق الصفحة أقل نوعاً ما، في كلتا الحالتين، تستخدم الأجهزة الأكثر دقةً في تطبيقات قياس القدرة، بينما تستخدم الوسائط الأقل دقةً لأغراض الحماية.

بغض النظر عن الجهد الأولي، تتم معايرة الجهد الثانوي لمحول الجهد عند القيمة 110V من أجل محول الجهد VT المستخدم في نظام وحيد الطور، أما من أجل محول

الجهد ثلاثي الطور فإن النسبة الثابتة هي جهد الخط الأولي إلى $110/\sqrt{3}$، عادة، يتم جعل الجهد الأولي قابلاً للقسمة على 11، وهكذا فإن النسبة ستكون عدد صحيح بشكل كامل، على سبيل المثال، حتى من أجل نظام مولد جهد 23 kV ستكون نسبة محولات الجهد $22000/\sqrt{3}$ إلى $110/\sqrt{3}$ أي 1 : 200. بشكل مشابه، تمكن مواد القلب الحديثة من تصميم محولة التيار المعيارية بحيث يكون لها تيارات أولية من مضاعفات 100A مع كلاً من 1A أو 5A للتيارات الثانوية، وبالتالي تكون هذه النسب 5 : 500 أو 1 : 2000، يتم تصميم الأجهزة والريليات بحيث يكون 1A أو 5A في الدخل. حيثما يتطلب القياس الدقيق أدنى من 100A، تكون محولات التيار بملف أولي مطلوبة، حيث يكون الناقل جزءاً فيزيائياً من تصميم المحول ذي ملف وفراغات مضبوطة حول مقطع قضيب النقل.

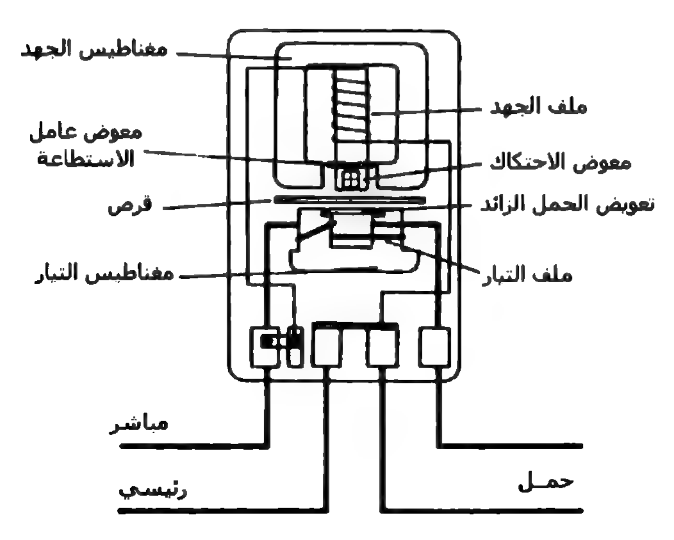
يمكن لعمليات إعادة التركيب أو تحديث المنشآت أن تستفيد من تصميم محولات التيار ذات القلب المشقوق حيث يمكن للقلب، والذي يكون عادة عبارة عن حلقة مغناطيسية مستمرة، أن يكون مشقوقاً بحيث يمكن جعله مطوقاً للناقل وبدون الحاجة لفك توصيل المنشأة.

مقاييس الطاقة

بما أن استخدام المقاييس المستمرة (DC) محدوداً جداً في المملكة المتحدة والطلب على هذه المقاييس فيما وراء البحار هو في انحسار مستمر لذلك لن يتم وصف هذه المقاييس.

المقاييس التحريضية (induction meters): يتكون المقياس التحريضي أحادي الطور - الأكثر انتشاراً - بشكل أساسي من مغناطيسين كهربائيين، قرص من الألمنيوم، عداد دوار وكابح مغناطيسي، موصولة مع بعضها كما هو مبين في الشكل (18.18). في المقياس من النوع F2Q-100 Ferronti، يتوضع عنصر الجهد أعلى القرص الدوار، ويحتوي على قلب ذي ثلاثة فروع، وملف مركب على الفرع الأوسط والذي يدعم أيضاً أداة تعويض الاحتكاك، يتكون معوض عامل الاستطاعة من حلقة

نحاسية تحيط بالفرع الأوسط وهي تتصل مع شبكة متحركة بالاتجاه الشاقولي ومحمولة على الإطار الرئيسي.



الشكل (18.18) الدارات الكهربائية لمقياس تحريضي نموذجي

يتوضع عنصر التيار أسفل القرص وله قلب على شكل الحرف U ومزود بملف مدعوم بأداة تشكيل معزولة، تقوم مفرعة مغناطيسية بين القلب والفروع بتعويض تأثير كبح فيض التيار عند الأحمال المرتفعة. يتكون نظام الكبح من مغناطيسين غير متجانسين يتوضعان أعلى وأسفل القرص على التوالي، ومتوضعين ضمن علبة مصبوبة، يتم توفير عملية الضبط الناعم عبر برغي فولاذي يقوم بتفريغ جزء من الفيض المغناطيسي، أما الضبط الخشن فيتم بوساطة زلق النظام المغناطيسي بأكمله بشكل جانبي، أما القرص الدوار فيتم تدعيمه بواسطة منظومة تعليق مغناطيسية. تخلق مغانط الجهد والتيار فيضين مغناطيسين متناوبين متناسبين مع جهد وتيار التغذية المراد قياسهما، يقوم كل من هذين الفيضين بنشر تيارات Eddy الإعصارية في القرص، ونتيجة التفاعل الذي يحصل بين فيض الجهد مع التيارات الإعصارية

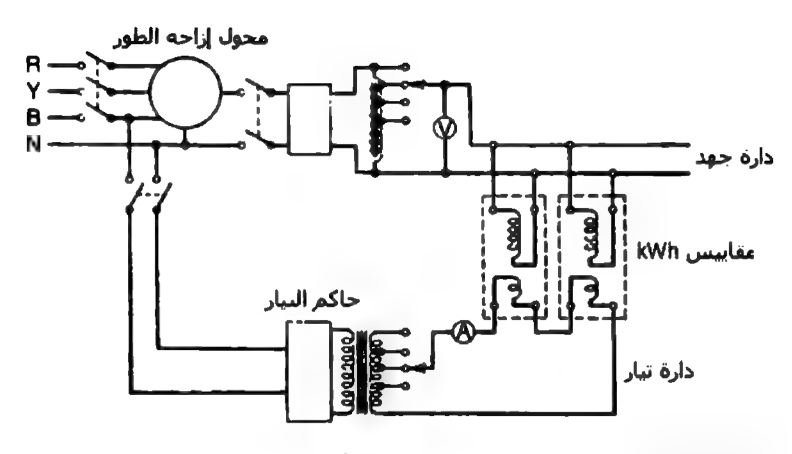
التي خلقت بسبب فيض التيار، والتفاعل بين فيض التيار مع التيارات الإعصارية التي خلقت بسبب فيض الجهد، يطبق عزم على القرص الدوار يقوم بتدويره. تؤثر منظومة المغناطيس الدائم ككابح للتيار الإعصاري على حركة القرص الدوار، وتجعل السرعة متناسبة مع الطاقة المطلوب قياسها، عند التركيب في مكان استهلاكي، يتم وصل ملف الجهد للمقياس إلى الدارة. لمنع القرص من الدوران عند فصل الحمل المستهلك، يتم تزويد القرص بأداة مقاومة للزحف (anti-creep).

في المقياس الموصوف، يتم تأمين الحماية ضد الزحف عبر فتح شقين قطريين صغيرين في محيط القرص بشكل قطري يعاكس كل منهما الآخر، هذه واحدة فقط من الطرق التي تستطيع من خلالها أدوات التعويض أن تحقق نتائج مشابهة، بالرغم من البنية غير المعقدة للمقياس التحريضي أحادي الطور، فإنه يمكن معايرتها لمستوى عال من الدقة ستحافظ عليه لسنين عديدة، في أنظمة المقاييس ثنائية الطور أو ثلاثية الطور يتم ترتيب عنصرين أو ثلاثة لقيادة منظومة دوار وحيد.

اختبار المقاييس

من غير العملي اختبار المقاييس في ظل شروط أو ظروف العمل، لهذا السبب يستخدم في العادة حمل وهمي بغرض الاختبار، يتم اختبار المقاييس أحادية الطور في دارات محولات كما هو مبين في الشكل (18.19)، حيث تتم تغذية التيار والجهد من مصادر منفصلة تسمح باستخدام التيار عند جهد منخفض مما ينتج عنه حفظ في الطاقة، كذلك تسمح بأن يكون تصميم معدات الاختبار بحيث تسمح بالتغييرات في زاوية الطور بين التيار والجهد حتى يتم خلق شروط التحميل التحريضي المواتية لمعايرة المقاييس، يعد اختبار تعدد الأطوار لمجموعة دارات أعقد، حيث يجب تأمين تسهيلات لاختبار عنصرين أو ثلاثة بشكل إفرادي أو جماعي.

تعرض المواصفة القياسية البريطانية BS 5685 متطلبات اختبار المقاييس بشكل مفصل. فيما يلي وصف موجز لثلاث طرق لاختبار المقاييس.



الشكل (18.19) مخطط مبسط لاختبار مقياس أحادي الطور

الطريقة A

اختبارات القرص المدرج لفترة طويلة باستخدام القائسات الدوارة غير المعيارية: لن يكون الحمل على أي مقياس دوار غير معياري أقل من ربع مرة أو أكثر من مرة وربع المرة من قيمة الحمل الكلي، إن فترة أي اختبار مماثل لن تقل عن خمس دورات كاملة للمؤشر لآخر قرص مدرج للمقياس موضوع الاختبار.

الطريقة B

a. اختبارات تستخدم قائسات دوارة غير عيارية (تختلف عن اختبارات الفترة الطويلة): يجب ألا يكون الحمل في أي مقياس دوار شبه قياسي أقل من ربع أو أكثر من مرة وربع من حمله الكلي. وفترة مثل هذا الاختبار موافقة إلى عدد الدوارات الكامل لقرص المقياس قيد الاختبار، ويتم التحقق منها كالتالي، بضرب 40 بالنسبة المئوية للتيار المحدد من قبل المقياس المختبر بواسطته ومن ثم التقسيم على 100، شرط أن توافق فترة الاختبار لخمس دورات كاملة على الأقل، ولا حاجة لأن تكون الفترة موافقة لـــ 25 دورة.

b. اختبار وحيد للقرص المدرج لفترة طويلة: أن يتم وفقاً لمدة لا تقل عن المدة المعروضة في الطريقة A.

الطريقة C

a. الاختبارات عن طريق أجهزة إشارة غير قياسية وساعة توقيت: إن حمل أي من أجهزة الدلالة غير القياسية يجب أن يكون بحيث يعطي قراءة لا تقل عن 40% من قراءة سلم القياس الكامل، وفترة أي اختبار من هذا النوع مرتبطة على الأقل بثلاث دورات متكاملة لقرص المقياس قيد الاختبار، أو ليس أقل من 100 s أي فترة طويلة.

b. اختبار وحيد للقرص المدرج لفترة طويلة: أن يتم وفقاً لمدة لا تقل عن المدة المعروضة في الطريقة A، (الطريقة C بمفردها صالحة لاختبار مقاييس محركات d.c).

الاختبارات الفعلية:

1. كل عداد ذي محرك غير نموذج التيار الكلي وحيد الطور - سلكين متناوبين يجب اختباره:

a. عند 5% من التيار الملاحظ، أو في حالة مقياس d.c ذي تيار ملاحظ أقل من 100A، عند 10% من التيار الملاحظ.

b. عند حمل أوسط واحد

c. عند 100% من التيار الملحوظ أو، في حالة قائس a.c ، عند 100 أو 125% من التيار الملحوظ.

بشرط أنه في الحالات التي تتم فيها الاختبارات وفق الطريقة B أو الطريقة C، فإن الاختبار الطويل (أي لفترة طويلة) للقرص المدرج والذي تم وصفه سابقاً سيكون على وفاق مع الحمولات المحددة للاختبارات الثلاث السابقة، وسيكون إضافياً لمثل هذا الاختبار.

إن كل جهاز قياس من نموذج التيار الكلي متناوب وأحادي الطور وذي السلكين يجب إخضاعه للاختبار عند حمل عالي، أو متوسط، أو منخفض من أجل عامل استطاعة واحدي، أي من أجل هذه الحمولات المراد تحديدها ضمن المجالات الموضحة في الجدول (18.1). أما الاختبارات المراد إجراؤها استناداً للطريقة B أو الطريقة C الموصوفة سابقاً باختبار القرص المدرج لفترة طويلة فيجب أن تكون واحدة من الحمولات المحددة في الجدول (18.1) وستكون إضافية لمثل هذا الاختبار.

الجدول (18.1) مجال الحمولات

حمل الاختبار	مجالات الحمولة لمجموعات المقاييس الأربعة بدلالة التيار الملحوظ			
	الأساس الأعظمي	المعدل المستمر الأعظمي	المجال الطويل	المجال القصير
عالي	50% max to 100% max	50% to 100% (1/2-1/1)	100%-200% (1/1-2/1)	100%-125% (1/1-1 1/4)
متوسط	يجب أخذ قراءة حمل وسطي في أي جزء من المنحني بين قيم الحمولات الفعلية العليا والدنيا			
منخفض	5% basic to 10% basic	1.67%3.33% (1/60th-1/30th)	5%-10% (1/20th-1/10th)	5%-10% (1/20th-1/10th)

2. أي جهاز قياس ذي تيار متناوب يتم اختباره عند قيم التيار والجهد التي يؤشر عليها عند عامل الاستطاعة 0.5 (متأخر)، مع إمكانية الزيادة أو النقصان بمقدار 10% في عامل الاستطاعة.

3. أي جهاز قياس استطاعة ساعية أو جهاز قياس a.c أحادي الطور يتم فحصه من أجل الزحف (creeping)، مع دارته الرئيسية المفتوحة ومع جهد إضافي بمقدار 10% من الجهد المؤشر والمطبق على دارة الجهد الخاصة به.

4. a. يمكن اختبار أجهزة القياس d.c ثلاثية الأسلاك أو أحادية الطور على أنها أجهزة قياس بسلكين مع دارات لعنصرين على التسلسل وجهد دارات على التفرع.

b. أي جهاز قياس d.c ثلاثي الأسلاك يتم اختبار توازن عناصره (في حالة أجهزة قياس الاستطاعة الساعية بجهد دارات يعمل عند الجهد المؤشر إليه).

- مع مرور التيار المار المؤشر في كل من الدارتين للقائس وعدم مرور التيار في الدارة الأخرى. و
- مع مرور نصف التيار المار المؤشر في كلتا دارتي التيار.

اختبارات أجهزة القياس متعددة الطور:

a. يتم اختبار أي جهاز قياس متعدد الطور كما في دارة نوع الجهاز المصمم من أجلها.

b. يتم اختبار توازن عناصر أي جهاز قياس متعدد الطور عند جهد دارات كافة عناصره العاملة عند الجهد المؤشر حيث يمر التيار المؤشر في دارة التيار لعنصر واحد وعدم مروره في الدارات الأخرى، مثل هذا الاختبار يتم إجراؤه على كل عنصر من العناصر عند عامل استطاعة واحدي وكذلك عند عامل استطاعة 0.5 (تأخير)، في الحالة الأخيرة يتعرض إلى سماحية حوالي 10% زيادة أو نقصان في عامل الاستطاعة.

أجهزة القياس التي تعمل موصولة مع محولة أو مفرعات: أي جهاز قياس معد للاستخدام مع محولة أو مفرعة يتم اختباره مع تلك المحولة أو المفرعة ويقود الوصل بين الجهازين ومثل هذه المحولة أو المفرعة.

5. *أجهزة القياس متعددة المعدلات (multi-rate meters).* يتم اختبار جميع أجهزة القياس متعددة القراءة استناداً إلى الفقرات السابقة، عند المعدل المشار إليه عندما تعمل الريليه، بالإضافة إلى ذلك، العملية المسجلة عند وضعية اللاعمل، وكذلك عند القراءة الأعلى عندما يتاح ذلك، اختبار إضافي يجب أن يتم عند الحمل المتدني مع اختبار من النوع A عند الحمل العالي. من أجل أجهزة القياس متعددة الطور، فإن هذه الاختبارات الإضافية تطبق فقط عندما تؤمن شروط توازن الحمل متعدد الطور.

أنظمة محولات الطاقة

أصبح استخدام محولات الطاقة لتأمين إشارات متناسبة مع الكميات المراد قياسها منتشراً بشكل واسع ومتزايد، فاستخدام محول الطاقة يخفف بشكل مثير الحاجة إلى أجهزة القياس a.c مثل أجهزة نموذج الحديد المشترك، الديناموميتر ذو القلب الهوائي والحديدي، وأجهزة السلك الساخن. يولد محول الطاقة إشارة dc من مرتبة mA تتناسب مع الكمية المقاسة، ولهذا فإنه يمكن قياس هذه الاشارة عن طريق ملف متحرك بواحدة mm، ولا يحتاج المؤشر لأن يتوضع عند مصدر القياس، بل يمكن أن يكون على بعد مسافة قد تصل إلى 1km، ولن يكون القياس أكثر دقة فقط، بل ستكون الأداة خطية ويمكنها قياس كميات ثنائية الاتجاه bi-directional كالطاقة (القدرة) الكهربائية. غالباً ما تستخدم محولات الطاقة ذات المجال القصير لقياسات الجهد التي يمكن التوصل إليها باستخدام تقنيات الإزاحة الإلكترونية.

يدعي المصنعون أن عدد أنواع الأجهزة قد انخفض بشكل كبير، حيث يمكن قياس الإشارات باستخدام المؤشرات الرقمية (digital indicators) بشكل مناسب، وقد صنعت لتوفر واجهة سهلة مع الحواسيب وأنظمة SCADA. حيث تتمتع المؤشرات الرقمية بممانعة دخل عالية مما يعني عدم تأثر قياس الجهد بالدارة المقاسة بسبب دقة القياس، هناك ميزة إضافية للتقنيات الرقمية هي أن محولات الطاقة لا تتطلب أن تكون أداة إشارة أحادية المهام، بل متعددة المهام، وغالباً يمكن أن تصل إلى توفير ستة قياسات، إن الخرج mA d.c من محول الطاقة أحادي المهمة يخدم عادة القياس بتأخير بسيط يقدر بحدود 50-100 ms، بينما تستخدم الأجهزة متعددة المهام القياسات بحيث يصار إلى تحديثها كل 1-10 s اعتماداً على متطلبات التشغيل، إن استخدام محول الطاقة متعددة المهام يخفف تكاليف المنشأة.

إن القياسات الكهربائية النموذجية التي تتم عن طريق استخدام محولات الطاقة هي عبارة عن الطاقة الفعالة وغير الفعالة، الجهد، التيار، عامل الاستطاعة والتردد، يمكن استخدام محولات الطاقة كذلك في قياس كميات أخرى مثل: الوزن، درجة الحرارة، والضغط، بشكل مطابق.

شهدت السنوات الأخيرة تطورات مثيرة في التجهيزات الكهربائية، فقد أصبحت تلك التجهيزات أكثر دقة واستقراراً، وقد أدخلت تحسينات أخرى في تقانات القياسات الإلكترونية ظهرت في إنتاج مقاييس طاقة إلكترونية، وهي، مرة أخرى، ليست أجهزة وحيدة المهمة بمستويات دقة عالية، لكن أجهزة متعددة المهام قادرة على قياس الطاقة/القدرة الفعالة وغير الفعالة وكذلك الجهد، التيار، وعامل الاستطاعة.

تتوفر نماذج أجهزة القياس التجارية بدقة 0.2% لاستخدامها في منظومات قياس التعرفة الكهربائية بدقة عالية والمرتبطة عادةً بمنظومات توليد وتوزيع الطاقة الكهربائية، بالرغم من ارتفاع كلفة دقة 0.2% لجهاز القياس، فإن الفوائد من دقة القياس توفر على الشركات عدة ملايين من الجنيهات. تقدم أجهزة القياس معلومات إضافية أكثر من قياسات الطاقة، فهي تستطيع تقديم قياسات لحظية (آنية) لمعاملات (بارامترات) الدارة، فيتم الخرج في الشكلين الرقمي أو التشابهي من خلال تأثيرها كمحولات طاقة. يمتلك جهاز القياس القدرة على تخزين معلومات الطاقة اللازمة (كل نصف ساعة) باستخدام ذاكرة إلكترونية ذات سعة ضخمة ولمدة طويلة، يمكن الوصول لهذه البيانات المخزنة عن بعد باستخدام شبكة الاتصالات الهاتفية القياسية أو الجوالة (موديمات متكاملة)، وأنظمة الهواتف الجوالة أو الاتصالات الراديوية. تم تخفيض تكاليف أجهزة قياس الطاقة الإلكترونية بشكل كبير وقد حلت حالياً محل أجهزة القياس من النوع التحريضي في المصانع والمنازل وبمستويات دقة مشابهة. تعد أجهزة قياس الطاقة الإلكترونية أكثر استقراراً بشكل عام، ولهذا فهي تحتاج للحد الأدنى من الكشف عن معايرتها، وهي عادةً تنهار بشكل كلي ومن الأجدى اقتصادياً استبدالها بشكل كامل بدلاً من إصلاحها. إن ذلك لا يعني بأنه قد تم استبدال أجهزة القياس التحريضية بشكل كامل، فمع الأعداد التي خفضت، لا تزال أعداد كبيرة مطلوبة، استناداً إلى حقيقة أن كلفة الأجهزة التحريضية أقل ومعدل انهيارها صغير جداً.

الأجهزة متعددة المهام

كخيار بديل لمحولات الطاقة متعددة المهام الموصوفة سابقاً، يمكن تزويد إشارات محولات الطاقة الأساسية إلى تجهيزات متعددة المهام كتلك العائلة من التجهيزات التي تنتجها شركة Crompton والمسماة Crompton instruments integral family. حيث باستطاعة هذه التجهيزات إظهار القياسات على شاشة عرض رقمية LCD أو LED، ويمكنها التواصل مع حالة الوسيط المقاس عن طريق استخدام واجهة تخاطب رقمية لوسطاء أكثر من 100 دارة، بالإضافة إلى الكميات الأساسية كالتيار والجهد والاستطاعة والتردد وعامل الاستطاعة، مؤخراً أمكن الإشارة إلى التشوه التوافقي الكلي إما على شكل إظهاره بشكل رقمي أو كدخل لمنظومات SCADA.

التشوه التوافقي الإجمالي (total harmonic distortion): أصبح المحتوى التوافقي لشبكة كهربائية ما مشكلة متنامية لمصممي النظم، فقد أدى تنامي استخدام التقنيات الحديثة في أنظمة التحكم بالحمل وأنظمة مفاتيح تغذية الطاقة الفعالة، في توليد التشوه عن طريق إنتاج ترددات توافقية بالنسبة للتردد الأساسي، وبشكل خاص هذه الترددات عند عامل توافقي 3، أي الثالث، الخامس، التاسع، الخامس عشر، ...، الخ، ستنتشر بشكل حر حول الشبكة، وغالباً خارج المنشأة حيث يمكن أن تتسبب بالمشاكل لمستخدمي الطاقة المجاورين.

يسبب المستوى العالي للتشوه التوافقي إجهاداً هاماً للتجهيزات، فالنواقل الحيادية تتحمل تياراً أعلى من المعدل الممكن، والموجودات ذات العناصر الملفوفة تتعرض للتسخين المفرط، مثل المحولات ومجموعة التوليد للمقويات. هناك خطوات عبر الأجسام المنضبطة لجعل المستويات المسموح بها للتشوه ضمن الشبكة قياسية، حالياً تقوم G5/4 في بريطانيا بوضع التوصيات والتي من المرجح بأن تضع المستويات القصوى والإلزامية ضمن توجهات الاتحاد الأوروبي EMC.

يعرف التشوه التوافقي الإجمالي (THD) بأنه القيمة المنتجة لشكل الموجة المتبقية بعد زوال الموجة الأصلية، حيث تعتبر موجة sin الكاملة = 100%.

$$THD\% = \frac{\text{القيمة المجدية الكلية} - \text{القيمة المجدية الأساسية}}{\text{القيمة المجدية الكلية لشكل الموجة}}$$

إن قياس THD% كما دلت عليه Crompton Integra 1540 Digital Metering Instruments يمكن من رصد ومراقبة المشكلة قبل تجاوزها للحدود المقبولة.

19

اللحام الكهربائي

هناك ثلاثة أنواع رئيسية للحام الكهربائي هي: اللحام بالقوس (arc welding)، لحام المقاومة (resistance welding)، واللحام بالإشعاع (radiation welding)، ويمكن تقسيمها ثانية إلى مجموعات فرعية على النحو التالي:

a. لحام القوس المحجوبة بالصهور (flux-shielded arc). تشتمل هذه الطريقة على أربعة أشكال:

- القوس المعدني اليدوي (manual metal arc)
- القوس الآلي المغمور بالماء (automatic submerged arc)
- الخَبَث الكهربائية (electro-slag)
- القوس الكهروغازي (electro gas)

b. لحام القوس المحجوبة بالغاز (gas-shielded arc). تتضمن هذه الطريقة إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

- قوس التنغستين ضمن غاز خامل (TIG)
- قوس البلازما (plasma arc)
- القوس المعدني الغازي (gas metal arc)

c. عمليات القوس القصيرة زمنياً غير المحجوبة. هناك نوعان رئيسيان هما:

- القدح (percussion)
- لحام الأجوطة بالقوس (arc stud welding)

d. لحام المقاومة. تندرج تحته الأنواع الرئيسية الأربعة التالية:

- الموضعي أو النقطي (spot)
- الدرزة أو الخطي (sean)
- النتوئي (projection)
- الومضي (flash)

e. اللحام الإشعاعي. تنتمي لهذه المجموعة ثلاث طرق هي:

- صورة القوس (arc image)
- شعاع الليزر (laser bean)
- شعاع الإلكترون (electron beam)

لحام القوس المحجوبة بالصهور

في هذه السلسلة الهامة من عمليات اللحام، تقوم القوس الكهربائية بتأمين الحرارة اللازمة للصهر، بينما يكون الصهور (flux وهو مادة تستخدم لصهر المعادن) مسؤولاً عن عمليات الحجب والتنظيف وعادة ما يكون مسؤولاً عن التحكم المعدني. أكثر أشكال اللحام استخداماً هو عملية اللحام اليدوية المعروفة باسم "لحام القوس المعدني اليدوي manual metal arc welding". في هذه الطريقة يتم مسك أقطاب كهربائية (electrods)، على شكل قضبان قصيرة مغطاة بالصهور، باليد. يكون الصهور على القطب ذا سماكة كبيرة ويتم تطبيقه بواسطة البثق (extrusion).

يتخذ الغطاء وظائف أخرى يؤديها إلى جانب وظائف الصهور، فهو يعمل على استقرار القوس، وتأمين طبقة من الغاز والصهور لحماية القوس من التلوث الجوي،

كما يقوم بالتحكم بالتفاعلات المتبادلة بين القوس والمعدن ويسمح بإضافة العناصر المسبوكة إلى معدن اللحام، وأخيراً، فإن ترك الخبث خلف سطح اللحام سيساعد على تشكيل خرزات اللحام بالشكل المناسب.

تصنع أقطاب لحام القوس المعدني بقلب سلكي بقطر من 1.2 mm حتى 9.5 mm. من أجل جميع الحالات، ما عدا الاستثنائية منها، فإن المجال المفيد هو 2.5 mm حتى 6 mm، يعتمد طول الإلكترود على القطر، فمن أجل الأقطار الصغيرة، حيث يحتاج التعامل مع الإلكترود إلى ضبط عال، يمكن أن يكون الطول فقط حوالي 300 mm. لكن في الأحوال العادية يكون الطول بحدود 450 mm ويتم استهلاك القوس بمعدل احتراق 200-250 mm/min يصنع سلك القلب من الفولاذ الطري.

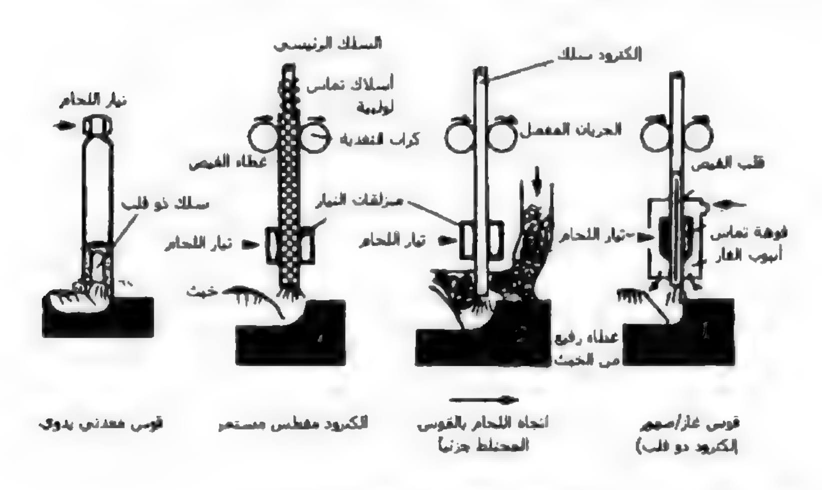
أما مصدر الطاقة الذي يقوم بتأمين تيار القوس فيمكن أن يكون متناوباً a.c أو مستمراً d.c، بصرف النظر عن المصدر، يجب تأمين طرق للتحكم بتيار القوس، يمكن أن يتم ذلك بواسطة منظم على حقل مولد محرك d.c أو بواسطة خانق (chock) في طرف الخرج لمحول خط التغذية الرئيسي.

القوس الآلي المغمور بالماء (automatic submerged): في لحام القوس المعدني اليدوي بالإلكترودات المغطاة، يجب أن يمر التيار عبر سلك القلب، وهناك حد لطول الإلكترود القابل للاستخدام بسبب التأثير الحراري المقاوم على التيار بحد ذاته، في عملية القوس المغمور يستخدم قضيب سلكي ويضاف الصهور على شكل مسحوق بحيث يغطي كلياً مكان اللحام ونهاية سلك الإلكترود، يمكن استخدام تيارات لحام عالية جداً تؤمن مدى احتراق عميق. يمكن أن تستخدم عملية اللحام بالقوس المغمور إما قطباً واحداً أو عدة أقطاب. في لحام الأقطاب التفرعية، يتم عادةً استخدام قطبين تفصل بينهما مسافة من 6 mm إلى 12 mm ويتم ربطهما إلى مصدر الطاقة نفسه، إذا استخدمت الإلكترودات بشكل ترادفي، الواحد تلو الآخر، فهناك احتمال ازدياد في سرعة اللحام بمقدار 50%، أما عند استخدامهما جنباً إلى جنب فإنه يمكن تعبئة مجاري أوسع، يفضل عند استخدام لحام الإلكترودات المتعددة أن يكون مصدر الطاقة متناوباً لأن أقواس d.c المتعددة تميل للتعاون. هناك حل آخر لمشكلة تأمين التيار للأسلاك المنصهرة بشكل مستمر تتم عن طريق وضع

الصهور ضمن إلكترود فولاذي أنبوبي يسحب من شريط أو يخصر في شريط معدني مطوي.

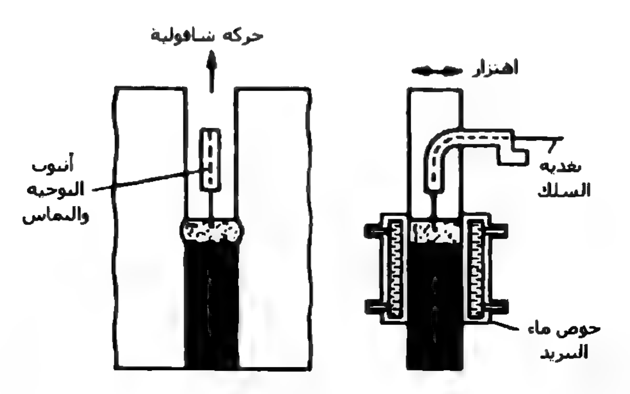
يمكننا التغلب على سلبيات حجم سلك الإلكترود ذي القلب ونقص الرؤية خلال عملية اللحام بالقوس المغمور عن طريق استخدام صهور قابل للتمغنط، وهذا عبارة عن تيار من ثاني أكسيد الكربون ينبثق من خلال فوهة تحيط بسلك قضب الإلكترود، وبسبب إحاطة الحقل المغناطيسي لسلك الإلكترود لدى مرور التيار الكهربائي يتم جذب مسحوق الصهور على نحو ممتاز ويلتصق إلى السلك، مشكلاً طبقة. يبين الشكل (19.1) الوضعيات المختلفة.

اللحام بالخبث الكهربائية (electro-slag welding): كلما ازدادت سماكة المعدن المراد لحامه، تصبح تقنيات التشغيل المتعدد غير اقتصادية. لكن استخدام اللحام الآلي، بتمرير تيار كبير في وضع مستوي يمكن أن يعطي حوض لحام كبيراً جداً وبحيث يؤدي إلى أن يكون الإلكترود خارج التحكم أو السيطرة وينتج عملية صهر غير ملائمة.



الشكل (19.1) لحام القوس المحجوبة بالصهور يدوياً أو آلياً

يمكن التغلب على ذلك عن طريق تدوير الصفائح إلى الوضعية الشاقولية وتنظيم الفرجة (gap) بينهما وبالتالي ستبدو عملية اللحام شبيهة بعملية السباكة (casting) المستمرة، يمكن التعامل مع أحواض اللحام من أي حجم تقريباً بهذه الطريقة التي تقدم هنا طاقة دخل كافية وشكل ما من أشكال الحواجز المبردة بالماء لإغلاق الفرجة بين الصفائح ومنع خروج حوض اللحام والخبث خارجاً. هذه هي، بشكل جوهري، ميزة اللحام بالخبث الكهربائي، يظهر الشكل (19.2) الهيئة الأساسية لنوع سلك الإلكترود الأكثر شيوعاً.



الشكل (19.2) **اللحام الكهربائي المستمر مع الإلكترود السلكي**

من أجل الصفائح السميكة، أي أعلى من 100 mm ؛ إنه من الضروري تمرير الإلكترود ذهاباً وإياباً، بحيث يمكننا الحصول على عملية صهر منتظمة لأوجه الربط عبر سماكة نقطة اللحام، من أجل المواد السميكة، يمكن استخدام أكثر من إلكترود واحد. هناك عدد من الاختلافات في عملية اللحام بالخبث الكهربائي، لتتوافق بشكل أساسي مع شكل الإلكترود. إحدى الطرق التي تستخدم دليل قابل للاستهلاك، هي أكثر بساطةً من طريقة سلك الإلكترود من حيث أنه لا ضرورة لتحريك رأس اللحام وآلية تغذية السلك إلى أعلى الوصلة أثناء إنجاز عملية اللحام. طريقة أخرى تكون فيها الأقطاب، على شكل صفائح أو قضبان، الصفيحة أو قضيب اللحام معلقة

في الفراغ ضمن الوصلة ويتم تخفيفها ببطء كلما تمت إذابتها عن طريق حوض الخبث، يمكن أن يستخدم مصدر طاقة ثلاثي الطور مع ثلاث صفائح إلكترودات مرتبطة مع بعضها البعض بشكل نجمي.

اللحام الكهروغازي (electro-gas welding): في هذا الشكل من اللحام، يتم توليد الحرارة عن طريق قوس كهربائية تضرب بدءاً من إلكترود من النوع flux-cored حتى حوض اللحام المنصهر. يشكل الصهور القادم من الإلكترود flux-cored طبقة حماية رقيقة ولكنها لا تقدم حوض خبث عميق كما في اللحام بالخبث الكهربائي، يطبق حجب إضافي لحوض اللحام عن طريق ثاني أكسيد الكربون أو غاز غني بالأرغون الذي يتم ضخه فوق منطقة اللحام من خلال الجزء العلوي لكل صفيحة نحاسية. من الناحية الميكانيكية، تكون المعدات الخاصة بهذه الطريقة مشابهة لتلك المستخدمة مع اللحام بالخبث الكهربائي من النوع ذي الإلكترود السلكي (wire electrode type).

لحام القوس المحجوبة بالغاز

يستخدم لحام القوس المحجوبة بالغاز بشكل أساسي وسط حجاب غازي وذلك لحماية كل من القوس الكهربائي ومعدن اللحام من التلوث الجوي.

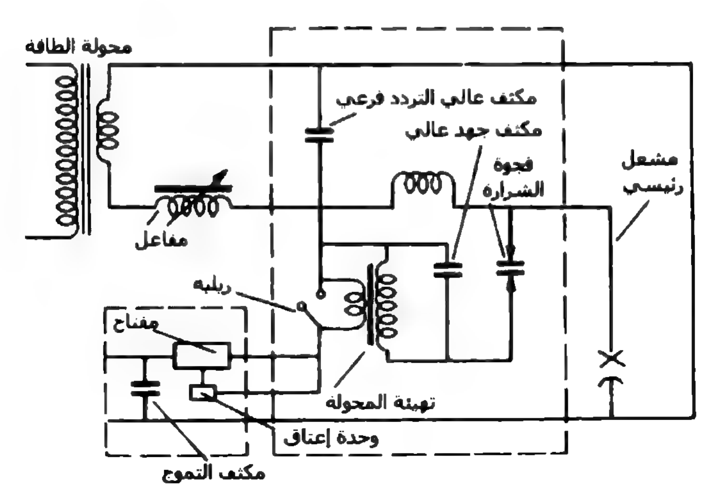
لحام قوس تنغستين في غاز خامل: تستخدم إلكترودات التنغستين لهذا النمط من اللحام باعتبارها النوع ذي الحد الأدنى من التآكل والموجود في الخدمة. تم اختبار معادن أخرى معاد تصنيعها ولكن هذه الاختبارات لم تنجح. إن معدل تآكل إلكترودات التنغستين صغير جداً بحيث يمكن اعتبارها غير قابلة للاحتراق، يقوم الغاز المحيط بالقوس وبحوض اللحام بحماية الإلكترود أيضاً، يستخدم الأرغون أو الهليوم كغاز مفضل عن الهيدروجين لأن الأخير (أي الهيدروجين) يرفع من جهد القوس ويحتاج إلى جهد عالي في الدارة المفتوحة فضلاً عن إمكانية امتصاصه من قبل بعض أنواع المعادن وبالتالي تتأثر خصائصها.

من المعتاد جعل الإلكترود ذي قطبية سالبة وهذا يزيد من التيار المسموح به إلى ثمان مرات بالمقارنة مع نظام الإلكترود الموجب، إن الميزة الرئيسة لامتلاك إلكترود d.c موجب هي فعل التنظيف الذي يقوم به القوس على العمل، حيثما يكون فعل التنظيف هذا ضرورياً ويكون التيار أكبر من 100 أمبير، يجب استخدام منبع تغذية متناوب. من ناحية أخرى، وعند استخدام منبع تغذية متناوب a.c، فإن عكس الجهد والتيار يسبب مشكلة إعادة الإشعال (reignition) لمرتين في كل دورة. عندما يكون الإلكترود سالباً فإنه لا توجد أي مشكلة، لكن عندما يصبح الإلكترود موجباً فإن إعادة الصدم ليست آلية. هناك ثلاث طرق للمساعدة في إعادة إشعال القوس تحت هذه الظروف، الأولى تتم عن طريق محولة جيدة التصميم بعطالة كهربائية منخفضة تؤمن الجهد العالي اللازم لإعادة توليد القوس، أما الثانية بواسطة وحدة شرارة بتردد عالي، يمكن فصل هذه الوحدة عن طريق ريليه فور بدء عملية اللحام، أو بشكل مغاير، من الممكن أن تعمل من جهد الدارة المفتوحة وهذا تنقطع عندما يهبط جهد القوس. كلتا الطريقتان تعانيان من سلبية ميل جهد الدارة المفتوحة للارتفاع وميل عامل الاستطاعة للانخفاض لأن هذا الجهد العالي يجب أن يتوفر عندما ينعدم التيار. في الطريقة الثالثة للاحتفاظ بالقوس يتم حقن موجة من الجهد في دارة الاستطاعة لتوفير القمة (Peak) اللازمة لإعادة الإشعال. ويتم ذلك عن طريق تفريغ مكثفة ضمن المفتاح الذي يتم تحريره آلياً عن طريق دارة الاستطاعة، انظر الشكل (19.3).

عند إنطفاء القوس في نهاية النصف السالب من الدورة، تبدأ قمة إعادة الإشعال بالنمو وتقوم بشكل ذاتي بتشغيل صمام تفريغ الغاز الذي يقوم بتفريغ المكثفة. يمكن أن يتم اللحام عند قيمة فعالة للجهد أقل من 50 V مقابل 100 V بواسطة الطريقتين الأولى والثانية.

أدخل عدد من التعديلات على طريقة قوس التنغستين لتناسب تطبيقات خاصة. يناسب قوس التنغستين النبضي عملية لحام الصفائح المعدنية الرقيقة باستخدام طاقة d.c وموجة تيار معدلة. أما قوس التنغستين المزدوج فيوفر خرزات لحام عريضة ويستخدم، على سبيل المثال في صناعة تغليف الكبل من العري. يستخدم اللحام الموضعي لقوس التنغستين نفس المعدات المماثلة لمعدات لحام قوس التنغستين اليدوي

التقليدي، باستثناء أن منظومة التحكم تتضمن أداة توقيت وأن المشعل قد تم تعديله، تستخدم هذه العملية لجمع الصفائح المطوية بسماكات متساوية أو غير متساوية.



الشكل (19.3) دارة المحافظة على القوس من أجل لحام قوس غاز التنغستين

لحام قوس البلازما (plasma arc welding): يمكن اعتبار منبع الحرارة الخاص بقوس البلازما كتطوير لقوس التنغستين الخامل. هناك نوعان، القوس غير المنقول (untransferred) والقوس المنقول (transferred) أو المحدود (constricted)، عندما يتم تزويد مشعل قوس التنغستين في الغاز الخامل بفوهة منفصلة معزولة ومبردة بالماء بحيث تشكل حجرة حول الإلكترود وحيث يضرب القوس من الإلكترود إلى هذه الحجرة، يتم إخراج قوس البلازما من الفوهة على شكل لهب، وهذا هو القوس غير المنقول والذي يستخدم مع عملية تغذية المسحوق ضمن البلازما من أجل عمليات الرش بالمعدن (metal spraying). عندما يضرب القوس من الإلكترود إلى القطعة المشغولة فإن القوس ينكمش عندما يمر خلال فتحة في الفوهة، وهذا هو قوس البلازما المنقول ويستخدم للقطع بسبب كثافة الطاقة والسرعة العالية للبلازما. لبدء قوس من هذا النوع نحتاج لقوس قائد من الإلكترود إلى الفوهة، يمكن أن يستخدم هذا القوس أيضاً في اللحام:

عند تيارات منخفضة من أجل لحام الصفائح المعدنية ذات السماكة التي تقل عن 1mm وعند تيارات حتى 400 A من أجل لحام المعادن السميكة، نحتاج إلى حجب إضافي بالغاز الخامل عند استخدام قوس البلازما في اللحام.

اللحام بالقوس المعدني الغازي (gas metal arc welding): إن الإلكترود المستخدم في هذا النوع من اللحام هو من النوع المستهلك وكذلك يتم استخدام تغذية d.c، تنصهر نهاية الإلكترود حيث تتحرر الجزيئات المنصهرة وتنتقل عبر القوس إلى الخامة بواسطة قوى مغناطيسية ديناميكية وتيارات غازية. يتعلق حجم وتردد القطيرة المنقولة مع حجم السلك والتيار، حيث يكون للجهد تأثير محدود، ما عدا في حالة واحدة. يتم الحصول على الأداء الأفضل بواسطة الأسلاك ذات الأقطار الصغيرة والتيارات ذات الكثافة العالية.

عمليات القوس القصيرة وغير المحجوبة

إن استخدام حجاب الصهور أو الحجاب الغازي في اللحام هو من أجل منع الهواء من التماس مع القوس ومع حوض اللحام، وبالتالي تجنب تلوث اللحام، في طرق اللحام غير المحجوبة، يتم وضع تصحيح لقيم تلوث الجو عن طريق إضافة مزيلات الأكسدة (deoxidizers) مثل السيليكون، المنغنيز، الألمنيوم أو السيريوم، وطريقة اللحام هنا هي نفسها من أجل القوس المعدني الغازي باستثناء عدم استخدام الغاز. أما العمليتين قصيرتي الزمن وغير المستمرتين للقوس غير المحجوبة فهما لحام القدح واللحام النتوئي. إن الحجاب غير ضروري بسبب أن كامل العملية يجري تنفيذها بسرعة كبيرة بحيث يتم إهمال التلوث أو يتم ضغط المعدن المصهور خارج الوصلة، هناك ميزة مشتركة لكلتا العمليتين هي أنهما تسمحان بوصل، وعبر عملية واحدة، الأجزاء ذات المقاطع الصغيرة مع أجزاء مشابهة أخرى أو قطع أكثر كبراً.

يظهر لحام القدح (percussion welding) في عدة أشكال ولكن في جميعها يتم توليد قوس بكثافة عالية ولفترة قصيرة عن طريق التمرير الفجائي للطاقة المختزنة بشكل عام، ولكن ليس دائماً، في المكثفات، الصدم اللاحق السريع جداً للقطعة المشغولة يشكل اللحام، هناك ثلاث طرق يتم عبرها بدء القوس وهي:

1. جهد منخفض مع القوس المسحوب
2. جهد انهيار كبير
3. التأيين بواسطة طرف الصهر

مصدر الطاقة لكل هذه الطرق يمكن أن يكون عبارة عن صف من المكثفات، التي يتم شحنها عن طريق وحدة تحويل/تقويم بجهد متغير.

اللحام النتوئي (stud welding): أحد أهم التطورات المفيدة في اللحام الكهربائي هو اللحام النتوئي، تظهر هذه الطريقة، في تثبيت الدعامات ضمن المكونات المعدنية، عدداً من الإيجابيات بالنسبة للطرق الأقدم التي استلزمت عمليات ثقب وتفريغ بحيث تسمح بتثبيت الدعامات في مواقعها بواسطة البراغي. عن طريق تحاشي الثقب والتفريغ، فإن اللحام النتوئي يساعد على تبسيط تصميم المنتجات، البنى والتجهيزات، تقديم مظهر أفضل، تحسين التركيب والاقتصاد في المواد.

هناك طريقتان للحام النتوئي، طريقة القوس المسحوب وطريقة تفريغ المكثفة، يمكن توصيف هاتين الطريقتين كتعديل لطريقة لحام القوس. ففي كلتا الحالتين هناك حاجة لقبضة لحام خاصة وكذلك رأس آلي أو جهاز تحكم لتوقيت مدة تيار اللحام، المبدأ المستخدم في طريقة القوس المسحوب هو وضع النهاية السفلى للدعامة أولاً بتماس مع القاعدة المعدنية التي سيتم لحامها عليها، ثم يمرر تيار صغير عبر الدعامة ليحرق خارجاً أي قشرة ويقيم مسار متأين قبل السماح بتدفق تيار اللحام الكامل عبر القبضة، يقوم لولب في القبضة برفع الدعامة قليلاً لتشكيل قوس، بعد فترة زمنية قصيرة يتم قطع التيار بشكل آلي ويقود نابض ضمن القبضة الدعامة إلى حوض المعدن المصهور الذي تم تشكيله عن طريق القوس.

في طريقة تفريغ المكثفة فإن الدعامة تمتلك أنبوباً صغيراً أو سدادة عند نهايتها الدنيا، وأثناء عملية اللحام تتوضع هذه السدادة على تماس مع القاعدة، عندما يتم وصل التيار تحترق هذه السدادة لخلق القوس وتنضغط الدعامة داخل المعدن المصهور.

لتأمين تيار اللحام اللازم لعملية القوس المسحوب، يلزمنا مولد تغذية d.c ليشكل قوس اللحام أو مقوم ستاتيكي.

تم تطوير معدات من نوع المحولات التي تستخدم تيار متناوب في اللحام، تتضمن تجهيزات اللحام النتوئي جهاز تحكم أوتوماتيكي لتوقيت اللحام، حيث يتم تهيئة دورة التشغيل عن طريق العامل، يظهر الشكل (19.4) معدات اللحام النتوئي Cromp-Arc المستخدمة لتركيب سطح حديد مضاد للانزلاق لطرف مركب.



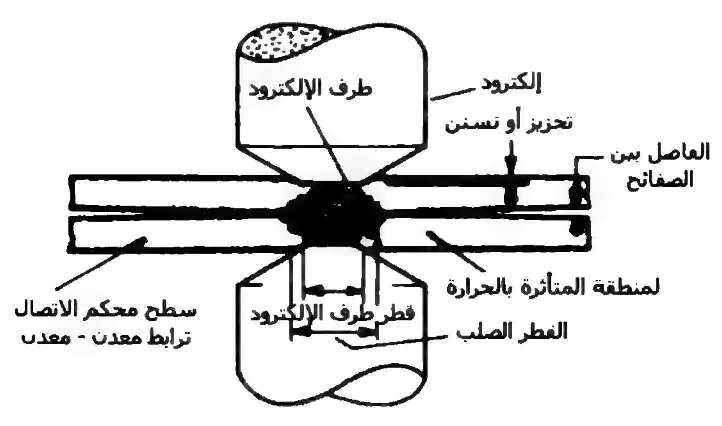
الشكل (19.4) منظومة اللحام النتوئي Cromp-Arc المستخدمة في تركيب سطح مقاوم للانزلاق

لحام المقاومة

تستخدم جميع طرق اللحام الموصوفة سابقاً قوس كهربائي لتوليد الحرارة التي ستقوم بصهر المعدن، هناك طريقة أخرى لتوليد الحرارة في المعدن تستخدم التيار أيضاً وهي تمرير التيار ضمن المادة إما عن طريق إلكترودات تقيم اتصالاً مع المعدن أو عن طريق التحريض باستخدام حقل مغناطيسي متموج يحيط بالمعدن، تحتاج جميع طرق لحام المقاومة إلى اتصال فيزيائي بين الإلكترودات الحاملة للتيار

والأجزاء المراد وصلها، وكذلك هناك حاجة للضغط لوضع الأجزاء بشكل متصل وتدعيم الوصلة.

لحام المقاومة الموضعي أو النقطي: في هذه العملية، يتم ضم الصفائح المطوية عن طريق الصهر الموضعي الناتج عن تركيز التيار بين إلكترودين أسطوانيين، يبين الشكل (19.5) هذه الطريقة بشكل تخطيطي، يتم مسك القطعة بين الإلكترودين بواسطة الضغط عبر الأذرع أو عن طريق مكابس عاملة هوائية، يمكن استخدام النوابض في آلات اللحام الصغيرة، يطبق التيار عادةً من خلال محولة تخفيض تدريجي.



الشكل (19.5) مميزات عملية لحام المقاومة النقطي

عادةً، تشكل الإلكترودات وأذرع الآلة جزءاً من دارة المحول الثانوية، تتكون الوصلة الملحومة نقطياً من واحدة أو أكثر من المساحات المنصهرة الكتيمة أو بقع بين القطع المشغلة. يمكن التحكم بتيار اللحام إما عن طريق تغيير نسبة لف المحولة أو عن طريق وسائل إزاحة الطور. يمكن لقيمة التيار وفق طريقة المحولة، وبتغذية أحادية الطور، أن تتغير عن طريق تغيير نسبة لفات الملف الأولي للمحولة. تتم تغذية الملف الأولي للمحولة عند التحكم.بإزاحة الطور من خلال الثايرستورات

التي تؤثر ببساطة كمفاتيح عالية السرعة، في بداية كل نصف دورة لتيار الملف الأولي يُجعل الثايرستور في حالة فصل (عدم ناقليه) ولكنه يحترق في الجزء الأخير من نصف الدورة هذا، يتدفق التيار حتى القيمة الصفرية التالية، وبذلك يمر فقط جزء الطاقة المتوفر في نصف دورة ضمن القطعة المشغولة، يمكن وصل الثايرستور بالوضعيات المعكوسة المتوازية أو خلف-خلف. ويمكن أن يستخدم لكل من التشغيل أحادي أو ثلاثي الطور. إن زمن مرور التيار مهم ويمكن التحكم به بواسطة وسائل ميكانيكية أو إلكترونية. تعمل المؤقتات الإلكترونية بغض النظر عن طور تيار اللحام وبما أنه لا يمكننا ضمان عدداً دقيقاً من الدورات فإنها لا تستخدم لزمن يقل عن عشر دورات.

لحام المقاومة الخطي (الدرزة) (resistance seam welding): هناك طريقتان للحام الدرزة المستمر، فباستخدام جهاز اللحام النقطي، يمكن إنشاء عدد من النقاط المتشابكة، تعرف هذه العملية باسم لحام الدرزة، كإجراء بديل، يمكن استبدال الإلكترودات بمدحرجات أو أسطوانات، وبالتالي فإن القطعة يمكنها أن تتحرك عبر اللحام باستمرار دون الحاجة لرفع أو خفض الرأس بين الوصلات الملحومة. تقاد المدحرجات عن طريق الطاقة ويمكن إيقافها أو عدم إيقافها أثناء إنشاء اللحامات المفردة. يمر التيار عادةً بشكل متقطع بينما تبقى الإلكترودات ثابتة، مع أن التيار المستمر يستخدم لمدى محدود أيضاً، هناك تقنية شائعة تعرف باسم لحام الدرزة خطوة-خطوة، لأنه بينما يتم إنشاء كل وصلة ملحومة تتوقف عملية الدوران ويتم قطع التيار بينما تتحرك المدحرجات إلى الموضع التالي، تعتمد كمية التداخل بين نقاط أو بقع اللحام على سرعة المدحرجات الطرفية ونسبة زمن قطع ووصل التيار، التداخل الطبيعي سيكون بحدود 25-50%.

يمكن ضبط التوقيت لإنتاج درزة غير مستمرة ولكن متسلسلة من اللحامات، عندما يتم تنفيذ ذلك، يطلق على عملية اللحام عندها "لحام الخط المتقطع roller-spot welding".

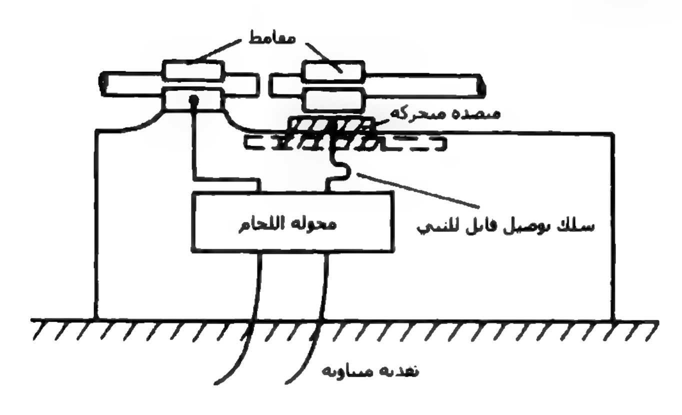
تتم عمليات لحام الدرزة عادةً على الصفائح المتشابكة لتقديم وصلة تراكب (lap joint) ولكن في بعض الأحيان نحتاج لإنشاء وصلة تناكبية (butt-joint)، وهناك عدة طرق للحصول على ذلك والمجال لا يسمح بوصفها بشكل كامل. تتضمن هذه الطرق:

لحام الدرزة الشبكي، لحام الدرزة على شكل وصلة تناكبية للرقائق، لحام الدرزة بالمقاومة، لحام المقاومة عالي التردد واللحام التحريضي عالي التردد.

اللحام النتوئي (projection welding): يتم في هذه الطريقة الوصول إلى تركيز التيار عن طريق تشكيل القطعة المشغولة بحيث أنه عند شراء النصفين معاً في آلة اللحام، يمر التيار من خلال نقاط تماس محددة. عن طريق الوصلات التراكبية في اللوح يظهر نتوء في لوح واحد يمر التيار من خلاله مسبباً تسخيناً موضعياً ويطوي النتوء. ينصهر كلاً من النتوء والمعدن على الجانب الآخر من الوصلة التي يتم الاتصال بواسطتها وبهذا يتم تشكيل اللحام الموضعي. يمكن استبدال الإلكترودات المشكلة (shaped) بغرسات (platens) ذات سطوح مستوية بحيث لا يكون هناك أي إنحراف إلا عند النتوء.

لا تقتصر هذه الطريقة على وصلات لوح-لوح، حيث يمكن لأي سطحين من الفولاذ الطري يؤتى بهما معاً للحصول على خط أو نقطة تماس، أن تتم عملية لحامهما بهذه الطريقة. تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في عمليات ربط الألواح والأسطوانات (pressings) ولربط المكونات الصغيرة للأجزاء المصنعة أو المعدة للتشكيل.

اللحام الومضي (flash welding): يعد اللحام الومضي شكلاً مطوراً عن اللحام التناكبي بالمقاومة (resistance butt welding) ويستخدم نفس المعدات، وهي تشتمل على مقمط ثابت وآخر متحرك، وبالتالي يتم مسك القطع المشغولة مع بعضها البعض أو توحّد بشكل قسري، وكذلك تشتمل هذه المعدات على محولة أحادية الطور متينة ذات لفة ثانوية واحدة، وتجهيزات للتحكم بالتيار. يتم مسك الأجزاء المراد وصلها عن طريق مقامط كما في الشكل (19.6). لدى تطبيق جهد لحام يصل إلى 10 V تقريباً عند المقامط، يمر التيار عبر نقاط التماس الابتدائية مسبباً انصهارها، يتم بعد ذلك فتق هذه الجسور المنصهرة وتتشكل أقواس صغيرة لمدة قصيرة تتحرك طاولة الآلة، التي يركب عليها المقمط المتحرك، للأمام وخلال ذلك تنشأ تماسات جديدة وفي أماكن أخرى ومن ثم تتكر دورة الأحداث هذه، تستمر هذه العملية المتقطعة حتى يتم صهر أو تسخين السطوح، المراد وصلها، بشكل منتظم.



الشكل (19.6) الشكل الأولي للحام الومضي

في هذ الوقت، ستتقدم الطاولة بمعدل متزايد لاغلاق الفتحة حال استهلاك المعدن، تدعى المسافة الإجمالية حتى نقطة الطرق بسماحية الومض (flashing allowance)، عند هذه النقطة يزداد معدل حركة الطاولة وتطبق قوى كبيرة لصهر الأجزاء معا ولفظ المعدن المنصهر على السطوح، يشكل هذا المعدن الملفوظ زعانف خشنة أو وهج يحيط بالوصلة، ويجب في هذه الطريقة التخلص من جميع الملوثات المعدنية التي يتم إنتاجها وبشكل أمثلي بغية الحصول على وصلة ذات نوعية عالية لها ميزات متعددة للحام في الطور الصلب.

اللحام بالإشعاع

تستخدم مجموعة صغيرة من العمليات طاقة اللحام على شكل إشعاع. هناك عمليتان تستخدمان الطاقة على شكل إشعاع إلكترومغناطيسي بينما العمليات الأخرى تستخدم شعاع إلكتروني. يتفرد اللحام الإشعاعي في أن طاقة اللحام يمكن تركيزها على القطعة المشغولة، ويتم توليد الطاقة الحرارية فقط حيث يضرب الشعاع القطعة المشغولة.

بشكل مغاير عن مصادر القوس أو اللهب، وإن القطعة لا تكون على تماس مع وسط ساخن أو مع بخار غازي أو معدني والعملية يمكن أن تنفذ في الخلاء (الفراغ منخفض) أو تحت نظام ضغط لاعتبارات تتعلق بالنظافة، في المقابل يخضع حوض المصهور في لحام القوس إلى ضغط مهمل.

اللحام بصورة القوس (arc image welding): تنجز عملية الصهر عن طريق تركيز صورة مصدر حرارة عالية على القطعة المشغولة حيث تستخدم المرايا لهذا الغرض، تم تصوير مصادر قوس البلازما بضغط عالي كمصدر حراري واستخدام خرج أعلى من 10 kV من أجل اللحام واللحام بالنحاس، هناك ضرورة لوجود منظومات ضوئية تجهز سطوحها العلوية بمرايا ذات دقة عالية من أجل التركيز، لكن بالرغم من ذلك، تحدث ضياعات عن طريق التبدد لأن المصدر محدد ويصدر في جميع الاتجاهات، مع أن هذه الطريقة ليس لها ميزات اللحام في الأرض فإنه يمكننا استخدامها في الفضاء مع وجود الشمس كمصدر حراري.

لحام الليزر (laser welding): الليزر هو عبارة عن جهاز عندما تتم إضاءته من مصدر شديد الضوء يكون قادرة على تضخيم الإشعاع ضمن حزم موجية معينة وإرساله كشعاع متماسك متوازي حيث تكون فيه جميع الموجات متفقة بالطور، يمكن لهذا الشعاع أن يتركز من خلال العدسات لتوليد بقع تكون كثافة الطاقة فيها مساوية فقط بواسطة الشعاع الإلكتروني، تم اشتقاق الكلمة من تضخيم الضوء عن طريق الاصدار المحفز للإشعاع (Laser) "Light Amplication by Stimulated Emission of Radiation". تم استخدام الليزر في اللحام النقطي الميكروي وقد بدا واضحاً أن هذا سيكون من أكثر التطبيقات الواعدة لليزر، وبشكل خاص عندما تبرز الحاجة للحد الأدنى من النشر الحراري.

لحام شعاع الإلكترون (electron bean welding): لحام شعاع الإلكترون عبارة عن عملية تتضمن مرحلة صهر (melting) يتم تغذية الطاقة فيها عن طريق اصطدام شعاع الإلكترونات المركز. أما المكونات الأساسية لمعدات اللحام فهي المدفع الإلكتروني، ومنظومة التحكم بتركيز الشعاع وحجرة العمل التي تعمل تحت ضغط منخفض.

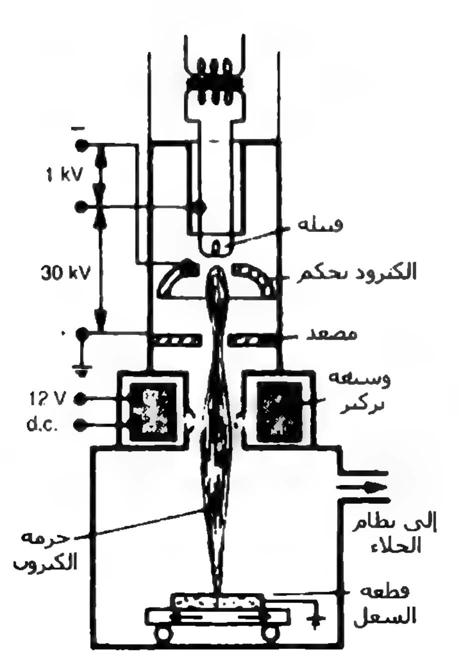
هناك تنوع أو تشكيلة من أنواع المدافع الإلكترونية ولكنها تعمل جميعاً بنفس المبدأ، يتم توليد الإلكترونات بواسطة فتيلة مسخنة أو مهبط وتعطى اتجاهاً وتسارعاً عن طريق كمون مرتفع بين المهبط ومصعد متوضع على بعد مسافة ما. في عدد محدد من منشآت لحام شعاع الإلكترون يكون المصعد هو نفسه القطعة المشغولة، أما في الحالات الأخرى يؤدي لوح مثقب وظيفة المصعد ويمر الشعاع خلاله إلى القطعة المشغولة في الخلف، تدعى المنظومة الأولى بالمنظومة المسرّعة بالعمل (work-accelerated) بينما تدعى الطريقة الأخرى بالمسرعة ذاتياً (self-accelerated)، إن نوع التسريع الذاتي أحد الأنواع المستخدمة في اللحام.

يستخدم التركيز المغناطيسي عادةً، ويطبق ذلك بعد مرور الشعاع خلال مصعد كما في الشكل (19.7)، في هذا النوع يتم التحكم بتيار الشعاع عن طريق اختيار سلبي على الإلكترود المتوضع حول المهبط والذي يدعى إلكترود التحكم (control electrode) يتصرف هذا الإلكترود كشبكة من حيث إمكانيته التحكم بتدفق الإلكترونات القادمة من المهبط.

لحام التنغستين في غاز خامل (TIG welding): إن عملية لحام قوس الأرغون طريقة لضم المعادن غير الحديدية والتي لا تصدأ وخلائط الفولاذ العالي بدون استخدام الصهور. إن عملية ضرب قوس كهربائي بين الإلكترود والقطعة المشغولة تنتج الحرارة اللازمة لصهر المادة ويتم حجب الإلكترود ومنطقة اللحام عن الجو بواسطة غاز خامل (الأرغون). يمكن استخدام معدات لحام a.c أو d.c قياسية تقدم جهد الدارة المفتوحة حول 100 V لـ a.c و 70 V لـ d.c.

من أجل عملية لحام الألمنيوم والمغنزيوم وخلائطهما، والفولاذ عديم الصدأ وخلائط الفولاذ العالي، وخلائط النيكل، وخلائط النحاس، بسماكة حتى 3mm فإن استخدام a.c هو الأنسب.

بينما قد يستخدم d.c من أجل جميع المعادن الشائعة الأخرى، وهو أساسي من أجل لحام النحاس والفولاذ عديم الصدأ والخلائط ذات السماكة التي تزيد عن 3mm.



السكل (19.7) مدفع حزمة صمام إلكتروني مع إلكترود تحكم

طريقة اللحام: تتم تغذية الأرغون إلى المشعل من خلال أنبوب PVC ، حيث يحاط الإلكترود التنغستين وفوق منطقة اللحام مباشرة بحجاب إما من السيراميك أو النحاس المبرد بالماء، يتم مسك المشعل وبالتالي فإن الإلكترود يشكل تقريباً زاوية 80° مع اللحام وينتقل عبر الجهة اليسرى، يمكن إضافة سلك تعبئة لتقوية اللحام، وتكون الزاوية حوالي 20° بالنسبة للدرزة، من المهم أن تكون نهاية سلك التعبئة مضغوطة على القطعة المشغولة وأن تغذى من الجهة الأمامية لحوض اللحام .

عندما يراد لحام درزات مستقيمة وطويلة نسبياً، أي وصل الألواح، أو الأشرطة، أو الأوعية الأسطوانية المصنعة، يمكن استخدام آلة اللحام بالأرغون. العديد من هذه النوعية من الأعمال يتم بدون استخدام سلك تعبئة، أي الحواف التناكبية

تصهر معاً ببساطة، حيثما تكون المقاومة العظمى أو السطح الفائض لازماً أو عندما تكون سماكة المعدن المراد لحامه أكبر من 3mm، عندئذ يمكن إضافة سلك المليء.

لحام قوس الأرغون النقطي: وهي عملية تكميلية للحام المقاومة النقطي، وتستخدم لعمل لحامات نقطية في المواضع التي يتعذر الوصول إليها بواسطة لحامات المقاومة النقطية.

في المبدأ يحدث انصهار موضعي بين الألواح المراد وصلها، يحتوي المشعل، والذي يتم التحكم به يدوياً، على إلكترود من التنغستين غائر ضمن حجاب مبرد بالماء، أما الأرغون فيستخدم لحجب الإلكترود ومنطقة اللحام.



مركبات البطاريات الكهربائية

تمكن تصنيف المركبات المقادة بواسطة الطاقة المحركة الكهربائية إلى ثلاث مجموعات جزئية:

- المركبات الصناعية والتجارية وتتضمن عربات توزيع الحليب والروافع الشوكية.
- السيارات الخفيفة المقادة بالبطارية تتضمن بشكل رئيسي الأصناف قيد التطوير.
- والمجموعة الأكثر حداثةً، السيارات الكهربائية الهجينة والتي تستخدم محرك احتراق داخلي.

بدأ استخدام المجموعة الأولى فور انتهاء الحرب العالمية الثانية، مع انطلاق تطوير الروافع الشوكية ومنصات عربات الشحن، تلا ذلك تنوع كبير وسريع، واليوم هناك مجال واسع ومتنوع من العربات الكهربائية المتوفرة للأغراض الخاصة وتشمل هذه القائمة: عربات توزيع الحليب، سيارات التوزيع، عربات الصيانة، الجرارات والشاحنات بنوعيها مع سائق أو بدونه، شاحنات الروافع الشوكية، الباصات الصغيرة، المتاجر الجوالة، شاحنات البضائع ذات المفاصل، سيارات الإسعاف، ووسائط النقل المختلفة، تلك هي أنواع المركبات التي يمكنها الاستفادة بقوة من مزايا الطاقة المحركة الكهربائية، مع وجود آثار سلبية بالحدود الدنيا.

تمتاز عربات البطارية الكهربائية بفوائد واضحة وهي: عدم وجود تلوث، عدم استهلاك أي طاقة فيما بين المهام (فترة اللاعمل)، وهي صامتة ظاهرياً، تمتلك

المحركات عزم إقلاع كبير وبالتالي فإن تسارعها الابتدائي كبير، ولذلك تصل إلى حالة العمل بسرعة كبيرة، كذلك فإن حاجة المحركات الكهربائية للصيانة أقل بكثير من حاجة محركات الاحتراق الداخلي لذلك، مع العلم بأن محركات الاحتراق الداخلي الحديثة التي تجهز بها العربات حالياً تحتاج للصيانة أقل بكثير مما كانت تحتاج إليه في العقود الماضية، إن الاستخدام المجدي للكهرباء يتم دائماً بعيداً عن ساعات الذروة بغية إعادة الشحن، لذلك فإن الكلفة الاستثمارية في أغلب الحالات ستكون في حدودها الدنيا.

أما سلبيات العربات المقادة بالبطارية فتشمل كون البطاريات بحد ذاتها ثقيلة الوزن وكبيرة الحجم، وهذا ما يؤدي إلى اختزال في الوزن المفيد للعربات بشكل كبير، وصغر المجالات الزمنية بين فترات الشحن، بعد التسارع الكبير للعربة في البداية تصبح سرعة التجوال معتدلة، فأي تسارع إضافي يتم طلبه للتحرك بشكل آمن سيكون منخفضاً.

السيارات الخفيفة المقادة بالبطارية

أهم الميزات التي تتمتع بها المركبات المقادة بالبطارية هي عدم انتاج أي نوع من أنواع المخلفات مثل ثاني أكسيد الكربون أو أول أكسيد الكربون أو أكاسيد النتروجين أو أي من تلك المخلفات التي تصدرها محركات الاحتراق الداخلي، فمن الناحية البيئية، يمكن أن تضع الكهرباء المولدة حداً لإصدار المخلفات أو الملوثات، وهذا ما شكل الدافع الرئيسي وراء الاستمرار في تطوير السيارات الخفيفة المقادة بالبطارية والعربات المشابهة بصرف النظر عن السلبيات المشار إليها أعلاه التي تبذل محاولات للتغلب عليها بشكل تام.

يعود تاريخ المحاولات الأولى لإنتاج سيارة خفيفة تقودها بطارية وبشكل تجاري قابل للحياة إلى منتصف العام 1970، حيث كان الحافز في ذلك الوقت هو التصاعد المتسارع في أسعار المحروقات الذي أضيف إلى ميزة التكلفة الاستثمارية المتدنية التي تؤمنها الكهرباء، قامت الشركة البريطانية Electricity council في عام 1973 بعدة محاولات وقد توصلت لسرعة 64 km/h كحد أقصى وكان مجالها 96 km.

بعد سنتين قامت كل من Bedford Commerical Vehicles و Freight Rrover بطرح عدد كبير من شاحنات الواحد طن للاستخدامات الصناعية الخفيفة في مجال التغذية الكهربائية البريطانية، والتي قامت بقيادة القطارات المطورة عن طريق شركة Lucas Chloride Electric Vehicles Systems. بالرغم من قلة المحاولات المختلفة لإعطاء الزخم اللازم لتطوير العربات المقادة بالبطارية، فقد ازداد استخدامها في السنوات الثلاثين الأخيرة على أية حال، وذلك بسبب عدم إمكانية إيجاد وسيلة أفضل من بطارية الرصاص-الحمض لتخزين الطاقة، وكذلك حقيقة إجراء بعض التحسينات المتواضعة في أداء هذا النوع من البطارية من ناحية الطاقة المختزنة لكل 1 kg من الكتلة.

تحسينات في التحكم: المجال الذي حقق قفزات هامة منذ منتصف 1970 كان مجال الملحقات المتعلقة بمنظومات القيادة مثل ثايرستور الحالة الصلبة، المبدلات/المقومات، للتحكم بأجهزة القيادة/الشواحن وحواسيب التحكم بتحديد المكابح ومنظومات الشحن، وقد أتاح ذلك الحصول على أكبر فعالية يمكن الحصول عليها من أجهزة القيادة وكذلك أمثلة (optimization) الطاقة المكتسبة من أي دورة بطيئة.

التطورات في تصميم المركبة: على الرغم من أن المركبات الكهربائية ليست الوحيدة، قادت الضغوط الدولية للحد من التلوث ومن أجل تخفيض الغازات المسببة لارتفاع درجة حرارة الجو، إلى تطورات هامة في تصميم المركبات بحد ذاتها، وكذلك بهدف الوصول بمحركات الاحتراق الداخلي مع الزمن شيئاً فشيئاً إلى الاستهلاك الاقتصادي للوقود، تم التوجه للتخفيف من الكبح أو المقاومة الآيروديناميكية للمركبة لدى مرورها عبر الهواء وكذلك التوجه لتخفيف وزن المركبة.

قاد قانون الضياعات الآيروديناميكية لزيادة مدى السيارات الكهربائية، وقاد لتخفيف الوزن الأمر الذي يعني إمكانية أكبر لحمل وزن البطارية وهذا بالطبع يعني تحسين التسارع.

التطورات في تكنولوجيا البطاريات: كما أشرنا سابقاً، اعتمدت عدة جهات بطارية الرصاص-الحمض كأداة لتخزين الطاقة الكهربائية للمركبات الكهربائية لا يمكن التفوق عليها، ومع هذا فقد خضعت هذه البطاريات في السنوات الأخيرة لبعض

التحسينات (راجع الفصل 21)، وحالياً تبدي الخلايا المختومة ذات الصمام المنظم (sealed valve-regulated cells). كثافة تخزينية محسنة مترافقة مع إمكانيات تشغيلية ضخمة وعالية جداً أعلى بكثير من بطاريات الرصاص-الحمض التي وجدت في 1970 وأوائل 1980، كذلك تم تطوير بطاريات هيدرات النيكل-معدن من خلال تحسين إمكانياتها التخزينية بشكل مترافق مع تمديد فترة حياتها بالمقارنة مع خلايا الرصاص-الحمض المختومة.

كمحصلة لجميع العوامل الواردة آنفاً، أمكن إنتاج عربات نقل مقادة ببطارية، وكانت أقرب إلى الاقتصادية من تلك المحاولات التي جرت في العقود الماضية. أعلنت شركة General Motors الأمريكية حالياً عن الجيل الثاني من مركباتها الكهربائية EV1 وهدفها إيجاد موطئ قدم لبيعها في السوق المكتظة والمليئة بالمنافسة واستناداً إلى منشورات شركة General Motors، فإن هذه المركبات تمتلك مدى يتراوح 55 و 95 ميلاً وذلك إعتماداً على تضاريس الأرض وأسلوب القيادة ودرجة الحرارة وتتغذى عن طريق محرك تحريضي 100 kW (137 HP) بتيار ثلاثي الطور متناوب.

وهي ذات مخفض سرعة بمعدل تخفيض واحد موضوع على 10.946:1 ، وتستخدم تركيبة من المكابح التقليدية والحديثة، السيارة متوفرة بخيار بديل آخر بمجموعة بطارية بديلة تستخدم بطاريات هيدرات النيكل المعدنية، والتي تزيد المدى إلى 75 وحتى 130 ميلاً، يتم الشحن عند 220 V، ويمكن التوصل للشحن بشكل تام في غضون 5.5 إلى 6 ساعات من أجل بطارية الرصاص-الحمض ومن 6 إلى 8 ساعات من أجل بطارية هيدرات النيكل المعدنية، تدين هذه العربة في أدائها إلى تصميم الجسم المحسن أو المتطور الذي يملك شكلاً ذا مقاومة آيروديناميكية منخفضة جداً، وبنيته من المواد المركبة التي أدت إلى تخفيض الوزن بشكل كبير.

العربات الهجينة

حتى مع المركبات أو العربات ذات الخصائص المتطورة مثل EV1 من إنتاج General Motors المعروضة أعلاه، فمن غير الممكن الحصول على الأداء الذي

يسمح باستخدام السيارات لجميع المهام، بمعنى أن مالكي مثل هذه السيارات سيظلون بحاجة عربات مختلفة تناسب الرحلات الطويلة، على الرغم من أن العديد من الناس يمتلك في هذه الأيام سيارتين فإن ذلك يبدو عيباً جدياً.

تقدم المركبات الهجينة محاولة للتغلب على هذه المسألة، فهي تمتلك أنظمة قيادة تستخدم بمجموعة مؤلفة من محرك احتراق داخلي ICE ومحرك دفع كهربائي بالبطارية، يكون ICE عادةً بسيط الحجم إلى حد ما، 1000 أو 1100 CC، وعادةً مقاد بالوقود (البنزين) وسوف يتم العمل بالاقتران مع القيادة الكهربائية حين يتطلب الأداء الحدود القصوى، أما في الأحوال التي تكون فيها الحمولات خفيفة فإن السيارة تقاد كلياً بواسطة محرك كهربائي، وعندما تكتشف منظومة التحكم بأن البطارية أصبحت بحاجة للشحن، عندئذ سيعمل ICE على أداء الواجب بصرف النظر عن متطلبات طاقة الجر، لا تعتمد المركبات الهجينة على أي تسهيلات شحن خارجية للبطارية، كما هي الحالة في المركبات المقادة بالبطارية فقط، تقوم المركبات الهجينة بحفظ الطاقة عن طريق استخدام الفرملة الاسترجاعية، جزئياً على الأقل.

يظهر مما سبق بأن النظام الهجين يدين بجدواه إلى توفر أجهزة الحاسوب التي تؤدي مهمة تنظيم القيادة/الشحن المعقدة. كانت كل من Toyota عن طريق (Prius) و Honda عن طريق (Insight) أول من قدم مركبات هجينة في السوق التجارية في نهاية التسعينات من القرن الماضي، ومع ذلك قام الكثير من مصنعي المحركات بتطوير المركبات الهجينة ومنهم Volvo, Volkswagen, Renault, Peugeot, Nissan, Mitsubishi, Mercedes, Kia, General motors, Ford, Daimler Chrysler.

كما في حالة النماذج المقادة بواسطة البطارية فقط، اعتمدت تلك المركبات الهجينة قيد الانتاج في أدائها الممتاز على العديد من السمات. ببساطة على التكنولوجيا الأساسية لنظام القيادة الهجين وعلى أجهزة التحكم الحاسوبية، وأيضاً على المميزات المتطورة للمركبات عبر الكبح المنخفض والوزن الخفيف، بالاضافة إلى أن ICE ذو تصميم متطور بعدة صمامات في كل أسطوانة وتواقت متغير للصمام.

بالرغم من الجدية التي اتخذتها بشأن المركبات الهجينة، توقعت Toyota في عام 2002 إنتاج حوالي 100,000 من هذه المركبات (وهي كمية قليلة بالنسبة لشركة Toyota).

على غرار المركبات المقادة كليا بالبطارية، هذه المركبات ذات سلبيات جدية، تتمثل في التكلفة العالية والمنطق الشاذ بإنتاج مركبة تتمتع بنظامي قيادة عملياً، المناصرون لذلك يقولون بأن لهذه العربة تأثير نظامي نصف قيادة، ويأمل المنتجون استخدام مكونات ثنائية وأحياناً ثلاثية المهام في سبيل الوصول إلى تخفيض الكلفة، على سبيل المثال سيكون محرك القيادة نفسه محرك الإقلاع وكذلك المولد.

مجموعات إدارة خلية الوقود

الرأي الأكثر خبرة اعتبر أنه، بالنظر للعيوب والمساوئ التي تملكها العربات المقادة بالبطاريات والعربات الهجينة، يجب على هذه العربات استخدام وحدات القيادة التي تعتمد على خلايا الوقود (fuel cell drives).

خلايا الوقود: تم التعرف على مبدأ الجهاز المعروف بخلية الوقود بشكل تقريبي مع البدايات المبكرة للتجارب الكهربائية، فهي تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية بشكل مباشر إلى طاقة كهربائية، وبالتالي فهي في هذا الصدد، وببساطة، إحدى أنواع البطاريات، الخلاف الجوهري بالنسبة للبطاريات المستخدمة حالياً في حياتنا اليومية هو أن الهيدروجين (الوقود) يمكن اعادة تعبئته عندما يتم استهلاكه، وبالتالي فهذه الخلية ليست ذات عمر قصير محدود كالبطارية ذات الاستخدام لمرة واحدة، الميزة الأخرى الأكثر جاذبية لخلية الوقود عند النظر إليها كمنبع كهربائي هي أن المنتج الثانوي هو الماء الصافي، ولهذا فهي غير ملوثة على الإطلاق.

في بريطانيا وفي عام 1830 قام Sir William Robert Grove بإجراء اختبارات لتحليل الماء كهربائيا، وقد وجد بأنه لدى مرور التيار الكهربائي في محلول إلكتروليتي فإنه سينتج الهيدروجين والأوكسجين، وبالتالي فإنه لا بد من وجود إمكانية لعكس هذه العملية، أي إذا أمكن خلق الشروط والظروف الملائمة، عندئذ يمكن دمج الهيدروجين مع الأوكسجين لتوليد التيار الكهربائي، وقد نجح Grove في ذلك عن طريق غمر حاويتين منفصلتين ملئت إحداها بالهيدروجين والأخرى بالأوكسجين وذلك ضمن محلول إلكتروليتي من حمض الكبريت الممدد، مما أدى إلى مرور التيار الكهربائي بين قطبين، وفي عام 1890 وفي بريطانيا أيضاً قام الكيميائيان Ludwing

Mond و Charles Langer بمحاولة بناء أداة عملية خاصة باستخدام غاز ساخن والهواء مبتكرين اسماً جديداً لها هو خلية وقود.

في نفس الفترة تلك تقريباً، أدى تطوير محركات الاحتراق الداخلي المبكرة إلى إخماد أي حافز لتطوير خلايا الوقود وبقيت من أمور الفضول العلمي ليس أكثر منذ نصف قرن، حتى تم إنشاء برنامج الفضاء الأمريكي وأعاد لها الحياة والاهتمام، في عام 1960 قامت NASA بالبحث عن مصادر طاقة ليصار إلى حملها على متن مركباتها الفضائية، حيث تم استبعاد البطاريات التقليدية بسبب وزنها الكبير وكذلك استبعدت الطاقة الشمسية لكلفتها العالية جداً وعدم جدواها، وكذلك استبعدت الطاقة النووية بسبب الأخطار المحدقة بها، وهكذا وصلت إلى الحل الأمثل عبر خلايا الوقود، ولهذا الغرض أجرت العديد من المشاريع البحثية التي هدفت من ورائها لتطوير خلايا الوقود العملية، في منتصف 1970 أضافت أزمة النفط والارتفاع المتصاعد في أسعاره حافزاً آخراً وجديداً لكبار المصنعين للبدء في الاستثمار في خلايا وقود تجريبية تغذي المركبات الكهربائية.

بالرغم من التكاليف الباهظة للأبحاث الواردة آنفاً، ظل ظهور خلايا الوقود العملية والاقتصادية بعيد المنال، فقد بقيت المشكلة التي تحتاج للحل والمستندة على قاعدة اقتصادية وتجارية هي تطوير غشاء معدني بمسامات نفوذ مناسبة تسمح للغازات الناتجة بالقرب من التماسات بحدوث التفاعل، وكذلك انتاج قطب ذي مقاومة مقبولة ضد التآكل، ومع هذا أدى شعور العديد من مصنعي ومنتجي السيارات بعدم تحملهما فكرة البقاء متأخرين خلف الركب، فقد شرعوا في السباق من أجل الوصول إلى هذا الهدف، واستمروا في تطوير خلية الوقود لتغذية المركبات، ومن بين هؤلاء Toyota، Peugeot، Nissan، Daimler Chrysler.

المركبات الصناعية

مركبات التوزيع (delivery vehicles): إن أكثر المركبات شيوعاً ضمن هذا الصنف هي تلك المستخدمة في توزيع الحليب، تتوفر مركبات بثلاث أو أربع عجلات

بسعة قد تصل إلى 2 ton، تتراوح سعة البطارية من 235 Ah إلى 441 Ah بمعدل 5 ساعات.

تخصص العربات ذات العجلات الثلاث للمهام الخفيفة وهي قادرة على المناورة بشكل كبير، وهناك ثلاثة أنواع من المتحكمات المتوفرة لهذه العربات وهي: المقاومة، نظام ربط البطاريات بشكل تسلسلي وتفرعي، والنمط النبضي بالحالة الصلبة، يؤمن متحكم الثايرستور من النوع Pulsomatic تحكماً ناعماً بالسرعة في الاتجاهين الأمامي والخلفي والطاقة المستهلكة من البطارية في رشقة قصيرة تعتمد على قدح الثايروستور وغياب المقاومات للتخلص من الضياعات المرتبطة بطريقة التحكم بالمقاومة.

تعتبر مركبة صناعة الألبان Commando من إنتاج Electricars نموذجاً لهذا النوع العصري من النقل، حيث تستخدم محرك جر ذا سلسلة حمايات، ذات تهوية ومغلقة ومتينة، التحكم يتم إما بواسطة المقاومة التي تزيد من الجهد المطبق على المحركات بأربع خطوات، بالاتجاه الأمامي أو الخلفي أو عن طريق الثيروستور، قواطع التحكم الآلية ذات تسهيلات الإطفاء المغناطيسي وهي تعمل عن طريق مفتاح يدار بالقدم يدمج المؤخر الزمني المتحكم به إلكترونياً، يقوم مأخذ 300 A والمقابس الراسية بشكل كامل بعزل الجر والدارات المساعدة أثناء الشحن، ويقوم محور الرفاس Layrub مع وصلات عامة بتأمين نقل الحركة، يتكون محور العجلة للقيادة ذات المرحلتين من المرحلة الأولى وهي دعامة حلزونية والثانية هي مخروط حلزوني مركب فوق مدحرجات أسطوانية شريطية.

- سيارات النقل السطحية.
- عربات الرافعة الشوكية.
- الجرارات.

21

أنظمة البطاريات

تطبيقات

يوجد العديد من التطبيقات المختلفة للبطاريات في عالمي التجارة والصناعة حالياً. حيث يعتمد اختيار نوع نظام البطارية على مهام التطبيق. وتصنف أنواع البطاريات في أربع مجموعات أساسية كما يلي:

- البطاريات الثابتة في الموقع (stationary)، وهي لا تتحرك من مكان لآخر عادةً، وتتصل بشكل مستمر إلى الحمل وإلى منبع تغذية التيار المستمر. أحد أهم عناصر هذه المجموعات هي البطاريات المستخدمة لتغذية أنظمة UPS، وتشمل كذلك البطاريات المستعملة في تشغيل مجموعة المفاتيح الكهربائية وبطاريات تجهيزات الاتصالات.
- الجر (traction)، حيث تستخدم البطاريات هنا كمصدر تغذية للعربات الكهربائية أو معدات نقل وتحميل المواد.
- المقلعات (starters)، تستخدم البطاريات في الإقلاع، الإضاءة، والتجهيزات المساندة لمركبات محركات الاحتراق الداخلي (كالسيارات والمركبات الصناعية أو التجارية).
- بطاريات الرصاص-الحمض (Lead-acid) ذات المنظم الصمامي أو بطاريات النيكل-الكادميوم المختومة (Nickel-Cadmium). وتستخدم في التطبيقات ذات الحاجة للتغذية الدورية مثل التجهيزات المحمولة والأدوات والألعاب،...

يمكن التركيز على نوعين من الخلايا لمعظم التطبيقات الواردة أعلاه وهما الرصاص-الحمض، والنيكل-الكادميوم. يمتاز النوع الأخير بميزة واضحة تتمثل في إمكانية إبقاءه خاملاً لفترة زمنية طويلة في أي حالة من حالات الشحن، حيث يمكن إعادتها إلى وضعها الأساسي (بعد فترة من الإهمال) وذلك عن طريق تعبئة البطارية أو إعادة شحنها. تتغلب هذه الميزة وبقوة على السلبيات التالية:

- عدم القدرة على اختبار حالة الشحن دون تنفيذ إجراء التفريغ.
- الحاجة لاستبدال المحلول الكهربائي (Electrolyte) عدداً من المرات خلال دورة حياة البطارية، وإلا فإن قدرة التفريغ العالية تؤدي إلى أضرار كبيرة.
- المقاومة الداخلية أعلى من خلية الرصاص-الحمض، وهذه السيئة مهمة بالنسبة لتطبيقات إقلاع المحركات، أما لتطبيقات الاتصالات فقد تقود إلى مستويات عالية من الضجيج القاعدي (background noise).
- تكلفة النيكل-الكادميوم أعلى من تكلفة الرصاص-الحمض من أجل الأداء نفسه.
- تميل تكاليف صيانة خلايا النيكل-الكادميوم لأن تكون أعلى مقارنة مع خلايا الرصاص-الحمض، وذلك بسبب العدد الكبير من الخلايا اللازم لتأمين الجهد المطلوب، وكذلك الحاجة الماسة للتنظيف لمنع الملاحقة بين الأقطاب والناجم عن قصر المسافات بينها.

بطاريات الرصاص-الحمض

مبدأ العمل: المركبات الفعالة لخلايا الرصاص-الحمض هي ثاني أكسيد الرصاص PbO_2 للألواح الموجبة (بني اللون)، والرصاص الطري Pb للألواح السالبة (رمادي اللون)، وحمض الكبريت H_2SO_4 للمحلول الكهربائي.

خلال عملية تفريغ الشحنة، يحدث انخفاض (reduction) جزئي لمادة اللوح الموجب وذلك عن طريق أكسدة مادة اللوح السالب وانضمام الناتج في كل حالة إلى حمض الكبريت. والنتيجة هي تحول جزء من المادة من كلا اللوحين إلى كبريت

الرصاص $PbSO_4$ يرافقه انخفاض في تركيز المحلول الكهربائي (الإلكتروليت). يمكن تلخيص هذا التفاعل على النحو التالي:

$$2PbO_2+Pb+2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4+2H_2O$$

وهذا يعني بأن كلاً من ثاني أكسيد الرصاص للوح الموجب والرصاص اللين للوح السالب يتفاعلان مع حمض الكبريت في المحلول الكهربائي، والناتج هو كبريتات الرصاص والماء. يُعتبر تفاعل التفريغ الكهركيميائي فعالاً بنسبة 100%. ويطبق ذلك على كل من التفريغ خلال حمل خارجي أو التفريغ الذاتي، أي داخلياً ضمن الخلية.

تفاعل إعادة الشحن هو عكس تفاعل التفريغ، ويعبر عنه كالتالي:

$$2PbSO_4+2H_2O \rightarrow PbO_2+Pb+2H_2SO_4$$

في هذه الحالة، تتفاعل كبريتات الرصاص في كلا اللوحين الموجب والسالب مع الماء لتشكيل ثاني أكسيد الرصاص والرصاص اللين على اللوح الموجب، واللوح السالب على التوالي، والحمض في المحلول الكهربائي.

يمكن أن تكون فعالية تفاعل إعادة الشحن 100%، وذلك يتعلق بحالة شحن الخلية أو البطارية. وعندما تصبح فعالية هذا التفاعل أقل من 100% يحدث تصاعد للغازات (يتحلل الماء كهربائياً) ويمكن تلخيص ذلك كالتالي:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2+O_2$$

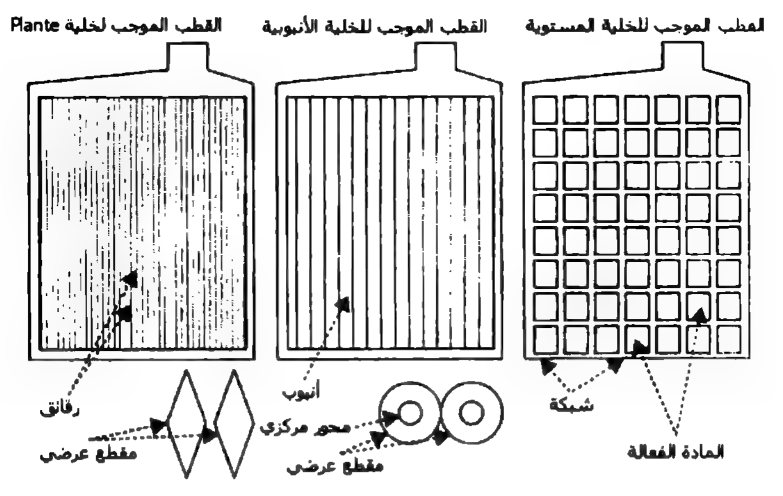
حيث يتحلل الماء مع انبعاث الهيدروجين من اللوح السالب والأكسجين من اللوح الموجب. تتغير فعالية إعادة الشحن كتابع لحالة الشحن وذلك كما يلي:

- من أجل قيمة لحالة الشحن أعلى من 80%، تكون النسبة المطلوبة بين إعادة الشحن (بواحدة أمبير - ساعة) والتفريغ (بواحدة أمبير - ساعة) هي (1:9).
- هذه النسبة قادرة على شحن بطارية الرصاص-الحمض كلياً عن طريق تفاعل التفريغ فقط والذي يحدث بين 80%SOC وحالة الشحن الكامل وينتج عن عملية التفريغ الذاتي.

- عند عدم تطبيق التحفظ الوارد في البند الثاني، فمن الوارد جداً ألا تكون البطارية قادرة على إعادة الشحن، ولن تصل مطلقاً إلى حالة الشحن الكامل.

بنية الخلية: تنتشر بطاريات الرصاص-الحمض في ثلاثة أنواع عامة من التراكيب. يعكس كل واحد منها نوعية اللوح الموجب المستخدم في الخلية، وهو نوع اللوح الذي يحدد فيما بعد المواصفات الكهربائية لها. يبين الشكل (21.1) أنواع التراكيب الثلاثة وهي:

- خلية Planté
- خلية اللوح العجيني
- الخلية الأنبوبية



الشكل (21.1) أنواع الأقطاب الموجب لبطاريات الرصاص - الحمض

خلية *Planté*: إن لوح خلية Planté الموجب هو عبارة عن لوح ثخين من رقائق الرصاص النقي، ثبت عليه طبقة ناعمة جداً من المادة الفعّالة. يهدف السطح

المكون من الرقائق إلى خلق مساحة كبيرة ضمن الألواح. وهذا بالتالي يقود إلى زيادة سعة اللوح. تكون الغالبية العظمى من الألواح بسماكة 6-8 mm وهي ذات عمر طويل، ولكن كثافة الطاقة للخلية تكون منخفضة إلا عند معدلات التفريغ العالية. تسمح بنية خلية Planté بامتلاك حجم كبير من المحلول الكهربائي، الذي يحتاج إلى كتلة نوعية منخفضة (1.22 kg/l).

الخلية العجينية (pasted) أو ذات اللوح المستوي (flat plate): يحتوي اللوح الموجب العجيني أو المستوي على إطار من خليطة الرصاص ضمن شبكة داخلية يتم ملؤها بالمادة الفعالة. تشير كلمة اللوح المستوي إلى ما ستبدو عليه الخلية، وتصف كلمة العجيني كيفية صنعها.

توصف بعض خلايا اللوح المستوي على أنها خلايا رصاص أنتموني وذلك نسبة للخليطة المستخدمة في إطار اللوح والشبكة. يقوم الأنتمون بتقسية الرصاص، ويتراوح محتوى الخليطة من الأنتمون بين 6% - 0.5 للإطار والشبكة. مع أنه من أجل إطالة عمر الخلية وتخفيض الفترات المخصصة للصيانة، يجب علينا المحافظة على نسبة أنتمون منخفضة قدر المستطاع. وهناك خلايا ألواح مستوية أخرى تستخدم خليطة تحوي 1% من الكالسيوم للإطار والشبكة.

بالمقارنة مع خلية Planté فإن مساحة سطح اللوح العجيني أكبر بكثير، وهذا ما يوفر كثافة طاقة أعلى، وخاصةً من أجل معدلات التفريغ الطويلة. تحتاج كثافة الطاقة العالية هذه إلى محلول كهربائي ذي كتلة نوعية من مرتبة 1.24 kg/l .

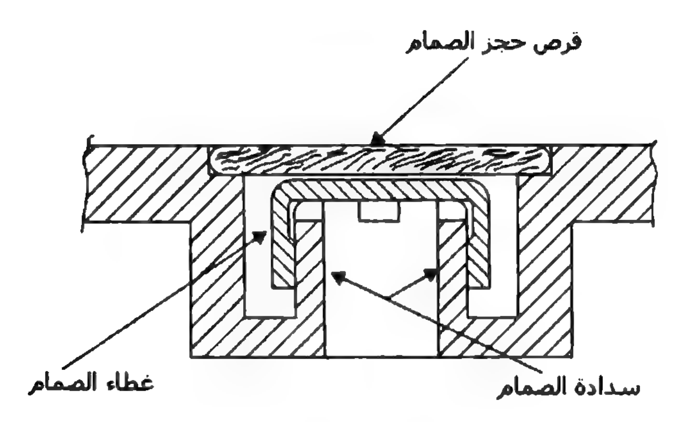
الخلايا الأنبوبية الموجبة (tubular positive cells): وهي عبارة عن قفاز نسيجي من الأنابيب يحتوي على المادة الفعالة ومحاور (spins) من مادة الرصاص/الانتمون الناقلة. يتراوح محتوى الأنتمون في خليطة المحاور بين 0.5-8% . تمتلك الألواح الأنبوبية الموجبة مناطق سطحية مشابهة لتلك التي تملكها الألواح العجينية وبذلك يتم الحصول على كثافة طاقة مشابهة. ولكن مرة أخرى عند معدلات التفريغ الطويلة، وذلك يتطلب محلول كهربائي ذا كتلة نوعية من رتبة 1.240 kg/l.

يتم بناء البطارية من سلسلة من الألواح السالبة والموجبة المجمعة في حاوية (container) بلاستيكية مصنوعة من مواد مثل السيترين (Styrene) أو أكريلونتريل (Acrylonitrile) وتفصل الألواح المتعاقبة للإبقاء عليها معزولة وذلك بترك فواصل بينها، مما يساهم، في بعض التراكيب في المحافظة على المادة الفعالة. أكثر العوازل استخداماً هي مواد دقيقة المسامات من PVC حيث تمتلك درجة عالية من قابلية الانتشار ومقاومة كهربائية منخفضة في الحموض وقدرة تحمل عالية.

ترتيبات تصريف (venting) الخلية - الخلايا ذات التصريف (vented cells) كما ورد سابقاً، باقتراب نهاية دورة شحن البطارية، يبدأ الأكسجين والهيدروجين بالتطاير، وتتحرر هذه الغازات عادةً في الجو، وهذا قد يسبب خسارة جزء من ماء المحلول الكهربائي، ولذا من الضروري رفع سوية الماء بشكل دوري ومنتظم عن طريق إضافة الماء المقطر للخلية.

تتألف أبسط آلية لتصريف الخلية من سدادة لفتحة التهوية قابلة للإزالة بحيث تسمح للغازات بالخروج، ويمكن إزالتها أيضاً للتمكن من إضافة الماء لرفع سويته ضمن الخلية.

خلايا الرصاص-الحمض ذات صمام التنظيم (valve-regulated): تستخدم هذه الخلايا الألواح المستوية أو العجينية مع إطار وشبكة تحوي خليطة الرصاص والكالسيوم أو الرصاص النقي. وتتميز باستبدال سدادة التصريف الموجودة في الخلايا التقليدية بصمام نموذجي من النوع Bunsen كما هو مبين في الشكل (21.2). الغرض من هذا الصمام هو الحث على إعادة اتحاد نواتج التحليل الكهربائي ضمن الخلية، وبذلك ينخفض هدر الماء، حيث تتبخر في نفس الوقت كميات صغيرة من الغاز الفائض الناتج أثناء التشغيل العادي. يمنع تصميم هذا الصمام أيضاً دخول الغازات الموجودة في الوسط المحيط إلى داخل الخلية. تستخدم الخلايا ذات المنظم فواصل (separators) ميكروية مصنعة من الألياف الزجاجية، حيث تقوم بامتصاص المحلول الكهربائي وبضبط محكم وحذر لدرجة الإشباع، كما يمكن أن تساهم في عمليات إعادة المزج (recombination).



الشكل (21.2) الشكل التجميعي للصمام

تجدر الملاحظة بأنه يمكن إرجاع معظم خلايا الرصاص والحمض ذات صمام التنظيم إلى خلايا الرصاص والحمض مانعة التسرب، إذاً يعد استخدام مصطلح "الصمام المنظم" محاولة للفت الأنظار إلى حقيقة مفادها أن هذه الخلية ليست من النوع "محكم الإغلاق" وبالتالي يجب علينا تجنب استخدام المصطلح "مانعة التسرب" للإشارة إلى هذا النوع.

الميزات

♦ *الشحن والتفريغ:* على عكس الأنواع الأساسية الثلاث المدرجة أعلاه، تعمل البطاريات الثابتة عادةً بشكل دائم وهي متصلة إلى الشاحن الخاص بها. حيث يعمل الشاحن في هذا النوع من التركيب بأسلوب يضمن المحافظة على ثبات البطارية ضمن شروط الشحن التامة. يصطلح على تسمية ذلك بعملية الشحن العائم (float charge). هناك مجموعتان جزئيتان لهذا النوع من نظام البطارية والشاحن:

- التطبيقات الاحتياطية Standby
- التطبيقات العاملة

في النوع الأول، تكون المهمة الرئيسية للبطارية هي المحافظة على تغذية الأعضاء النشطة (الفعالة) في حال حدوث أي انقطاع أو فقدان للتغذية الرئيسية للطاقة. وهذه صالحة من أجل أنظمة UPS وحدات عدم انقطاع التغذية (التي تم تناولها بالتفصيل في الفصل السابع). أو يمكن ببساطة استخدامها لتأمين تغذية أجهزة الاتصالات أو إضاءة الطوارئ، وهنا يمكن أن يكون انقطاع الطاقة لفترة قصيرة مقبولاً. في هذا النوع من التطبيقات، هناك وقت كاف لإعادة البطارية إلى شروط الشحن التام التي تلي عملية إعادة إصلاح المزودات الرئيسية للطاقة. في النوع الثاني، تكون مهمة البطارية هي ضمان استقرار الحمل بشكل أساسي، أي أن البطارية يجب أن تلبي المتطلبات الفجائية أو القصيرة مثل عمل مجموعة المفاتيح الكهربائية، وشائع أو مقلعات أجهزة التيار المستمر، وهذا قد يتضمن تلبية متطلبات الأنظمة المزودة بالطاقة الشمسية والتي يمكن توقع توفرها على المدى الطويل ولكن على المدى القصير، فإن هذا التنبؤ غير أكيد.

إن معيار التصميم الرئيسي لهذه النوعية من التطبيقات، هو ضمان محافظة البطارية على حالة الشحن التام لفترة زمنية كافية ضمن شروط جيدة. ففي حالة البطارية العاملة على تشغيل مجموعة المفاتيح الكهربائية، يكون الحل بإضافة شحن داعم Boost-Charge.

◆ *اختيار نوع البطارية:* من أجل التطبيقات المستقرة والكبيرة إلى حد ما والنوع الاحتياطي (stand by) الذي تم التعرف عليه أعلاه، تمتلك خلايا Planté ميزة واضحة هي الأداء العالي تحت ظروف التفريغ لفترات زمنية قصيرة نسبياً، لنقل ساعة واحدة، هذا الأداء أعلى بكثير من أداء الخلايا ذات الألواح العجينية أو الأنبوبية.

تبدأ معدلات التفريغ النموذجية من 5 min وحتى 30 min من أجل أكثر المتطلبات شيوعاً لفترة احتياط تساوي 15 min.

يمكن أن تكون البطاريات من النوع regulated-valves للعديد من البطاريات الثابتة، وبشكل خاص في الاتصالات والتطبيقات المشابهة، حيث تجعلها خصائصها الظاهرية، وهي المقاومة للتسريب، قابلة للتركيب بكامل شواحنها ضمن المكان

الذي يضم الجهاز الإلكتروني برمته والتي تقوم بتزويده بالطاقة الاحتياطية. وفي هذه الحالة تنتفي الحاجة لأية تدابير احتياطية يجب اتخاذها فيما يخص غرفة البطاريات.

أما البطاريات غير الثابتة، فيمكن أن تستخدم تطبيقات خلايا الألواح العجينية أو الأنبوبية بمزايا خاصة تتعاون فيما بينها لتلبي متطلبات محددة. على سبيل المثال، تستخدم بطاريات إقلاع المحركات عادة الألواح العجينية. تقوم الشبكة باحتواء المادة الفعالة من خليطة الرصاص والكالسيوم والقصدير، تلتصق على خطوط الشبكة مادة أكسيد كبريت الرصاص والتي تتحول فيما بعد إلى المواد الفعالة اللازمة بواسطة المحلول الكهربائي. تعتمد سماكة الصفائح المعدنية على العمل الذي صممت من أجله، وتتراوح هذه السماكة من 1.5 mm بالنسبة لتطبيقات الطيران وحتى 2 mm لمقلعات السيارات وإلى حوالي 5 mm لمقلعات محركات قاطرات الديزل.

بسبب الحاجة الكبيرة لتيارات عالية عند إقلاع المحركات، يتم رصف الصفائح بحيث تكون قريبة من بعضها البعض قدر الإمكان، وذلك بغية المحافظة على المقاومة الداخلية ضمن حدودها الدنيا. ويتم تحقيق ذلك باستخدام عوازل من أغشية رقيقة جداً مصنوعة من مادة PVC (دقيقة المسام) أو من المطاط، وبشكل نادر من الصوف الزجاجي. يتم تجميع بعض البطاريات ضمن حاوية من مادة البروبيلين polypropylene لبطاريات السيارات، أو من مواد المطاط القاسي حيث تكون القدرة الطويلة على التحمل مطلوبة.

من أجل تطبيقات الطاقة المحركة كالرافعة الشوكية أو عربات توزيع الحليب أو قاطرات مناجم الفحم، تستخدم الألواح الثقيلة الضخمة حيث تجمع مع أدوات أخرى لتساعد على التصاق المعجون على قضبان الشبكة الموجبة. تستخدم عادةً خلايا الألواح المستوية الموجبة التي تصل سماكتها إلى حدود 6 mm تقريباً عوازل من نسيج الصوف الزجاجي بالإضافة لمواد PVC أو المطاط حيث تصل سماكتها لغاية 5 mm في التركيبات المضغوطة للسماكات الكبيرة واللواصق السلبية.

على كل حال، في بريطانيا، تستخدم الغالبية العظمى من هذه البطاريات خلايا ذات ألواح أنبوبية موجبة تصل سماكتها لغاية 9 mm معزولة عن الألواح العجينية السالبة المستوية بواسطة أغلفة دقيقة المسامات من مادة التيريلين Terylene للأكمام

الأنبوبية المتعددة، أو من الألياف الزجاجية مع طبقة خارجية من PVC المثقب للأنابيب المستقلة. ويتم ملء الفراغ الكائن بين الأنبوب (الحاجز) ومحور خليطة الرصاص (الناقل) بالمادة الفعالة بشكل كتيم. يبدي هذا النوع من التركيب مقاومة ميكانيكية عالية من المسامية لنفاذ الحمض.

التكاليف وفترة الصلاحية: يعطي الجدول (21.1) مقارنة تكلفة الأنواع العامة الثلاثة لخلية الرصاص-الحمض المستخدمة في البطاريات الثابتة التي تعمل في مواقع الشحن الاحتياطي. النقطة الهامة الجديرة بالاعتبار أنه في حال تم توزيع الكلفة على فترة الصلاحية المتوقعة للخلية، فإن أفضلية الترتيب ستكون أولاً خلية Planté ومن ثم الخلايا الأنبوبية وأخيراً الخلايا ذات اللوح العجيني. ومع ذلك يمكن أن تكون خلية اللوح العجيني هي الأفضل في المواقع الفعلية للعديد من التطبيقات، ويعود السبب في ذلك إلى أن متطلبات فترة الصلاحية لغالبية وحدات عدم انقطاع الطاقة UPS، وتجهيزات الاتصالات لا تتجاوز العشرة سنوات وغالباً ما تقل عن هذه الفترة. إذاً في ظل هذه الظروف، يتم التغاضي عن توزيع كلفة الخلية على مدة صلاحيتها، ويتم تحديد الخلية الأنسب من خلال التكلفة الأقل.

الجدول (21.1) مقارنة كلفة خلايا الرصاص-الحمض

النوع	Planté	الأنبوبية	الألواح العجينية
السعة (Ah)	400	400	400
الكلفة الداخلية*	100	80	75
الصلاحية (سنة)**	20	14	12
الكلفة السنوية	5	5.7	6.3

التركيب (installation): تتكون المنصات الحاملة لبطارية الرصاص-الحمض من اثنين أو أكثر من الإطارات النهائية الفولاذية المطلية بالإيبوكسي مع مجاري طولانية وقضبان ربط. قبل بدء التركيب، يتم مسح رؤوس جميع البراغي بمادة هلامية

* يتم اختبار واحدة الكلفة، لوحدة خلية Planté وقيمتها 100.

** فترة الخدمة (الصلاحية)، نفترض في مواقع البطارية العائمة الحقيقية. هذا الرقم يصبح واضحاً عند الأخذ بعين الاعتبار أن أنظمة UPS لا تعتمد على تشغيل البطارية في الحالات الاحتياطية الحقيقية.

بترولية (شحمة)، ومن ثم يتم التقيد بتعليمات المنتج في تركيب المنصة. حيث يتم عادة تجهيز أقنية مطاطية على حوامل توضع الخلايا المستقلة، ويجب ضبط مستوى ارتفاع المنصة، كما يجب ضمان نظافة وجفاف جميع صناديق الخلايا، وتنظيف سطوح التماس المستوية للركائز النهائية. وإذا وجد ما يدل على أن الحمض قد أريق على طول الركائز، فيجب مسحه بقطعة قماشية مبللة أو مغطسة بمحلول غير حامضي (قلوي) ويفضل النشادر خفيف التركيز، وهذا يؤدي إلى تحييد أي حمض عن تلك الأجزاء، حيث يجب عدم السماح بدخول أي جزء من هذا المحلول إلى داخل الخلايا. ويجب مسح الركائز لتصبح نظيفة وجافة ثم يتم تغطية الطول الكامل لكل ركيزة بمادة بترولية هلامية كالفازلين. ويجب عدم حك سطح أي من الركائز النحاسية المصفحة بالرصاص تجنباً لحدوث أضرار في التصفيح.

أما تركيب الخلايا ذاتية الخزانة، فهي مسألة بسيطة حيث يتم وضع الخلايا ضمن ألواح بلاستيكية على الرفوف اعتماداً على تعليمات وتوجيهات المنتج. حيث يتم البدء بالرفوف السفلى وذلك لضمان استقرار الخزانة ولدى اكتمال وضع جميع الخلايا في أماكنها، يمكن ربطها بأحزمة.

الشحن للمرة الأولى (first charge): عند شحن البطاريات، يجب التقيد بتعليمات المنتج، حيث يتم التركيز على أهم تلك النقاط وهي استخدام حمض نقي جداً في الوصلة. عند شحن البطارية الجافة غير المشحونة لأول مرة، يجب، وبعناية، تحديد مقاومة الحمض ضد التعبئة، زمن التحلل في الماء قبل بدء الشحن، معدل الشحن، ودرجة الحرارة عند الشحن. ويمكن أن تظهر عيوب الخلية عند أول عملية شحن من خلال التأخر في بلوغ المرحلة الغازية أو السخونة العالية. تختلف مؤشرات الشحن الكامل، ومقاومة المحلول الكهربائي في الضبط النهائي باختلاف الأنواع، لكن لا تكتمل عملية الشحن لأول مرة إلا عندما يصبح الجهد أثناء الشحن ضمن المجال 2.6-2.7 V لكل خلية، ويبدأ تصاعد الغازات بشكل حر في جميع الألواح. عندئذ يتم ضبط مقاومة المحلول الكهربائي في هذه المرحلة ولمرة واحدة، حيث لا توجد ضرورة لإعادة عملية الضبط هذه مرة أخرى خلال فترة صلاحية الخلية. يتم شحن العديد من بطاريات السيارات بشكل جاف حيث تحتاج فقط للملء بالمحلول الكهربائي المعد مسبقاً وبكثافة محددة قبل وضعه في الخدمة. يجب

أن تبقى سدادات فتحات التنفيس في مكانها عند أول عملية شحن، وكذلك عند إعادة الشحن، ويجب إزالتها فقط عند إضافة السائل لرفع سويته أو عند إجراء عمليات الصيانة الأخرى.

الصيانة (maintenance): يجب أن تبقى البطاريات وملحقاتها نظيفة، فالتلوث من الداخل، والرطوبة من الخارج يؤديان إلى الإسراع في تفريغ البطارية وتراجع حالتها. يجب تحرير السدادات من أي عائق لتجنب آثار الضغط الداخلي، ويجب إبعاد البطاريات عن الأضواء الكاشفة أو مصادر الشرار الأمر الذي قد يسبب اشتعال الغازات المنطلقة وربما يقود هذا إلى حدوث انفجار شديد. يجب الحيلولة دون نقص مستوى المحلول الكهربائي تحت حد معين حيث يؤدي ذلك إلى كشف كل من قمم الألواح والعوازل. في ظل هذه الشروط فإن الأضرار الميكانيكية تلي التحولات الكيميائية التي قد تحدث. وإن أفضل ما يتوجب القيام به هو تعويض النقص في المحلول الكهربائي عند إعادة شحن الخلايا أو أثناء الشحن الاحتياطي، هنا يجب استخدام الماء المقطر أو المتأين فقط.

يدل الانخفاض في الكثافات تحت المستوى الطبيعي إلى أن الخلية أو البطارية لم تعد في حالة الشحن الكلي (تم قصر الخلايا short-circuit أو تم ترك الخلايا مفتوحة open-circuit لفترة طويلة)، في هذه الحالة يجب تنشيط عملية الشحن لضمان تأمين شروط الشحن الكامل. لا تحتاج العديد من التصاميم الحديثة المتنوعة لصيانة المحلول الكهربائي.

اختبار الصيانة (maintenance testing): لأهمية ضمانة البطارية، يجب أن يقوم المسؤولون عن صيانتها بفحص شروطها بشكل دوري ومنتظم. ومن أجل القيام بذلك بشكل نموذجي، يجب أن يتم الاختبار على الجهاز الذي تقوم البطارية بتشغيله. فمن أجل البطارية التي تؤمن الطاقة لنظام الإضاءة الطارئة، فإنه يجب أن تقدم التغذية الضرورية للطاقة بالزمن الاحتياطي المحدد، وعندما يحتاجها محرك ما لإقلاعه، فيجب اختبار الإقلاع خلال فترات زمنية منتظمة.

جهود الخلية

1. عندما لا يمر أي تيار عبر الخلايا، تكون هناك قيم صغيرة لجهود الخلية.
2. عندما لا يصل جهد خلية الرصاص–الحمض في حالة الشحن إلى أعلى من 2.3 V أو 2.4 V بعد وصول جميع الخلايا إلى حوالي 2.7 V لكل خلية، فهذا يعني أن تلك الخلية قد تكون مقصورة داخلياً، ومن الصعب غالباً تحديد حالة القصر هذه لكن الجهد يظهرها في الحال، وسيحدث هبوط سريع في الجهد إذا كانت هناك دارة قصر وبشكل خاص عند التفريغ، وسيترافق ذلك بهبوط مختلف في الكثافات النسبية للمحلول الكهربائي. مثل دارات القصر هذه، يمكن أن تكتشف كذلك في البطاريات أثناء الشحن الاحتياطي وذلك بأن جهد الخلية ذات الدارة القصيرة سيكون أدنى من جهود بقية الخلايا، وكذلك سيرافق ذلك انخفاض في الكثافة النسبية.
3. إذا ارتفع جهد أي خلية رصاص إلى 3 فولت عند وضعها على الشحن للمرة الأولى مع تدفق نسبة الشحن الموصى بها، في هذه الحالة قد تكون نسبة الكبريت قد ارتفعت في الخلية (sulphated) وبالتالي يجب شحنها بنسبة منخفضة حتى ينخفض ويعاود الارتفاع من جديد.
4. لا تحاول إضافة الحمض إلى أي خلية رصاص–حمض تبدو أنها تحوي على الماء فقط، حيث يجب وضعها على الشحن عند نصف المعدل الطبيعي لمدة من الزمن، فإذا شوهد ارتفاع بطيء للجهد، تتم زيادة المعدل ببطء. من أجل الخلية المفرطة في التفريغ فقط نقوم بضبط الكثافة النسبية للحمض بعد انتهاء عملية الشحن، وسيشار إليه بواسطة الكثافة النسبية، ويبقى جهد الخلية ثابتاً لثلاث قراءات ساعية متعاقبة.

معلومات إضافية: من أجل التطبيقات الاحتياطية للبطارية حيث يمكن استخدام عدد من الخلايا في البطارية. من الأفضل تخصيص غرفة خاصة لاحتواء الخلايا. ويجب أن تجري الفحوصات بشكل دوري وخلال فترات منتظمة وذلك لضمان المحافظة على منسوب المحلول الكهربائي، وضمان احتفاظ البطارية بشحنتها كاملة، وترتيب تجهيزات الشحن بشكل جيد. يجب أن يكون مع كل بطارية مكثف السائل

الخاص بها Hydrometer وكتيب التعليمات الخاص، مع كمية محددة من الفازلين أو أي مادة هلامية بترولية للمحافظة على وصلات الخلايا بشكل جيد. عندما يوكل للبطارية القيام بوظيفة هامة، فإنه من المفيد إضافة ميزان حرارة ودفتر تسجيل ومقياس لاختبار جهد الخلية. في بعض التصاميم المختومة للبطاريات، يكون فحص واختبار المحلول الكهربائي غير مهم وغير مطلوب، في هذه الحالة يطلق على البطارية اسم "maintenance-free" بمعنى أنها لا تحتاج إلى صيانة.

لدى استخدامها في تطبيقات القدرة الحركية، يجب أن يكون العامل ملماً بعمليات الصيانة المطلوبة، أي الحاجة لرفع سوية المحلول بشكل منتظم، وتكييف إعادة الشحن بعد تفريغ البطارية. وهنا أيضاً يجب توفير مكثف للسائل ومقياس اختبار جهد الخلية وميزان حرارة ودفتر تسجيل.

في تطبيقات السيارات، من المهم المحافظة على السوية الصحيحة للمحلول ضمن الخلايا، وفحص الكثافة النسبية من حين لآخر بواسطة مقياس كثافة السائل.

من أجل كافة التطبيقات، يجب توفير الماء المقطر أو غير المؤين. يجب ألا يتم استخدام الماء العادي مطلقاً لرفع سوية المحلول للخلايا، حيث يمكن أن يحوي الماء المنزلي العادي على الكثير من الإضافات أو الشوائب الضارة. أينما استخدمت خلايا الرصاص-الحمض أو الخلايا القلوية، من المفضل أن تخصص لها أماكن منفصلة، ولا يجوز بأي حال من الأحوال إضافة أي مادة ملونة إلى خلية الرصاص-الحمض أو بالعكس. ويجب عدم استخدام نفس الأدوات كمقياس الكثافة أو ميزان الحرارة لكل من بطاريات الرصاص أو البطاريات القلوية وذلك لتجنب تلوث هذه الأدوات.

خلايا النيكل-الكادميوم القلوية

المبدأ الكيميائي: تتألف مادة اللوح الموجب الفعالة من هيدرات النيكل مع مزيج محدد من الغرافيت النقي، أما مادة اللوح السالب الفعالة فهي أكسيد الكادميوم الممزوج مع أكسيد حديدي خاص. أما المحلول الكهربائي فيتكون عادةً من 21%

من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (ماءات البوتاسيوم) ذي درجة نقاوة عالية. يمكن كتابة التفاعل التالي لتطبيقات البطارية:

$$2\ NiOOH + 2\ H_2O + Cd\ \text{discharge} \rightarrow 2\ Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \leftarrow \text{chrge}$$

تكون ماءات النيكل في البطارية المشحونة بشكل كامل عند درجة أكسدة عالية، بينما يتم اختزال المادة السالبة إلى الكادميوم الصرف. أما في حالة التفريغ فيتم تخفيض درجة أكسدة ماءات النيكل بينما يتأكسد الكادميوم في اللوح السالب.

يتم التفاعل إذاً عبر انتقال الأكسجين من أحد الألواح إلى الآخر، كما ينحصر تأثير المحلول الكهربائي كناقل متأين فقط، ولا يؤثر على أي من اللوحين بأي طريقة. لا تتغير الكثافة أثناء عمليتي الشحن والتفريغ وتصبح الخلية خاملة وفي دارة مفتوحة عند درجة الحرارة العادية.

البنية (construction): هناك عدد من الأشكال المختلفة لبنى خلايا النيكل-الكادميوم. ففي خلية النيكل-الكادميوم المحمولة، تتكون المادة الفعالة من مزيج هيدروكسيد النيكل والغرافيت. حيث يتم تركيز المزيج ضمن كريات مفرغة مزودة بأقنية مصنوعة من أشرطة فولاذية مثقبة مطلية بالنيكل. ويدعم اللوح السلبي بشكل مشابه بمسحوق الكادميوم الممزوج مع الحديد أو النيكل. أما المحلول الكهربائي فهو عبارة عن محلول ماءات البوتاسيوم. عند استخدام العلب المعدنية، يتم فصل الخلايا المستقلة عن طريق فواصل (spaces) عازلة لكن يتوفر العديد من هذه الخلايا ضمن علب بلاستيكية.

تستخدم خلايا النيكل-الكادميوم الملبدة (sintered) ألواحاً ذات درجة نفاذية عالية، يتم إنتاجها عن طريق تلبيد أنواع خاصة من برادة النيكل، ويتم دعم هذه الألواح بشبكة من النيكل، أو ألواح الفولاذ المطلي بالنيكل، تحوي على فراغات يمكن أن تحل فيها حوالي 80% من المواد الفعالة المتولدة وهي هيدروكسيد النيكل والكادميوم على التوالي. لذلك فإنه يتوجب المحافظة على تماس وثيق بين المادة الفعالة والسطح المعدني الكبير للنيكل بغية تأمين الناقلية اللازمة.

إن تكلفة خلايا الألواح الملبدة أعلى من تكلفة خلايا الألواح المحمولة، ولهذا فهي تستخدم بشكل رئيسي من أجل التطبيقات التي تحتاج لمعدل تفريغ عالي خلال فترة زمنية قصيرة. وكذلك فهي تشغل حيز أقل بالمقارنة مع الخلايا المحمولة المكافئة لها من حيث السعة. تتوفر خلايا النيكل-الكادميوم المختومة من أجل السعات المنخفضة نسبياً، وتجد لها مجالاً واسعاً في تطبيقات المهام الاحتياطية وبشكل خاص في الإضاءة الطارئة. يحتاج إعادة شحن هذه الخلايا دون التسبب في توليد ضغوط داخلية خطرة، أن تكون سعة الألواح السالبة أكبر من سعة الألواح الموجبة.

المواصفات العامة: تمتلك بطاريات النيكل-الكادميوم ميزات شديدة المرونة فيما يتعلق بالشروط الكهربائية والميكانيكية، فهي بطارية تتقبل معدلات شحن عالية أو منخفضة، وتعمل عند تيارات عالية أو منخفضة وتعمل عند حدوث أي من هذه الظروف. يمكن أن تبقى هذه البطاريات دون عمل لفترة طويلة وعند أية حالة من حالات الشحن وتعمل في مجالات أو حدود جهود صغيرة جداً.

أنواع البطارية: يتوفر نوعان رئيسيان لهذه البطارية:

- نوع المقاومة العادية (normal resistance) وهو يستخدم عند الحاجة المنتظمة أو العَرَضية (occasionally) لكامل الأمبير-الساعي الذي تعطيه البطارية. على سبيل المثال في تطبيقات الجر أو الإضاءة الاحتياطية.
- النوع عالي الأداء ويستخدم عند الحاجة إلى استطاعة منتظمة، وعندما يتطلب الاستخدام تأمين تيارات عالية ولفترة زمنية قصيرة كما هو الحال في مقلعات (starters) المحركات وتشغيل المفاتيح الكهربائية.

الشحن والتفريغ: إن معدل الشحن الطبيعي لجميع أنواع بطاريات النيكل-الكادميوم هو C/5 لمدة 7 ساعات، حيث C معدل سعة البطارية التي ستعيد البطارية غير المشحونة إلى وضعها الأساسي خلال سبع ساعات. يمكن أن يتغير معدل وزمن الشحن للبطارية حسب الوظيفة الموكلة إليها. يمكن تفريغ البطارية بشكل آمن وبمعدلات مرتفعة حتى الوصول إلى حالة القصر دون أضرار وذلك

بفضل المواد الفعالة المغلفة والبنية الفولاذية لها. معدل جهد التفريغ هو 1.2 V لكل خلية عند التيارات العادية.

الصيانة: لا تتطلب هذه البطاريات سوى عمليات صيانة بسيطة جداً، ومن الضروري أن تنفذ بشكل منتظم وسليم من أجل بلوغ الأداء الأمثل. من المهم جداً المحافظة على نظافة الخلايا وجفافها وتعويض السائل الكهربائي بالماء المقطر إذا ما دعت الحاجة لذلك.

شحن البطارية

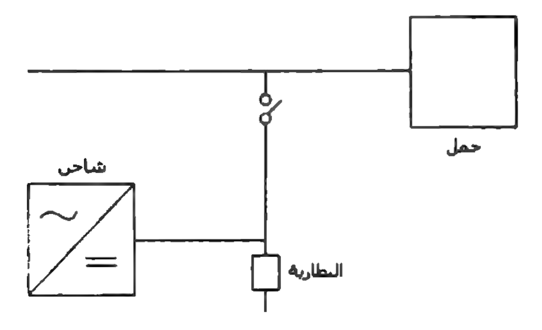
أصبح واضحاً، من خلال الوصف السابق، وجود خياران أساسيان لأجهزة شحن البطارية:

- الأجهزة المستخدمة للمحافظـــة على البطاريات الثابتة بحالة جيدة من الشحن العائم (float charge).
- الأجهزة اللازمة لإعادة الشحن، كما في الجر، المقلعات، البطارية المحمولة بعد استخدامها.

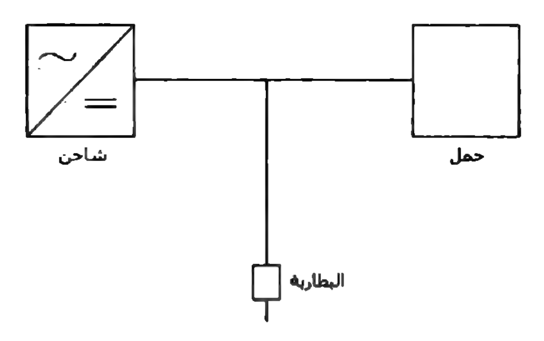
الشحن الاحتياطي (العائم) للبطارية الثابتة: يعتمد اختيار الشاحن لهذا النوع على حجم ونوع الحمل وعلى حجم البطارية. يتوفر العديد من الخيارات الفرعية ضمن هذه المجموعة مثل:

1. نمط عمل الاستجابة (response mode operation): يوضح هذا النمط تخطيطياً من خلال الشكل (21.3)، حيث يتم ربط الحمل عادةً مع البطارية. عند حدوث انقطاع للتغذية العادية، يتم ربط الحمل إلى البطارية دون حدوث انقطاع للطاقة. ومن الضروري في هذا النمط أن يؤمن الشاحن الجهد والتيار الضروريين للمحافظة على البطارية بوضع الشحن العائم.
2. نمط العمل التفرعي (parallel mode operation): وهو موضح في الشكل (21.4) حيث يتم ربط الحمل إلى الشاحن والبطارية بشكل دائم، وبالتالي تقوم البطارية

بدعم الحمل بالطاقة لضمان عدم انقطاع الطاقة. تتواجد في هذا النمط مناطق عمل مختلفة يتم تمييزها عن طريق الملاءمة الدقيقة لهذا النظام.



الشكل (21.3) نمط عمل الاستجابة النموذجي



الشكل (21.4) نمط العمل التفرعي النموذجي

ضمن منطقة العمل الأولى، والتي يشار إليها عادة بمنطقة الاستعداد (stand by)، يكون الشاحن قادراً على التغذية في كل الأوقات وبالتيار المطلوب من قبل البطارية والحمل، ولذلك تبقى البطارية مشحونة بشكل كامل دائماً. يحدث التحول عندما يصبح الشاحن قادراً على تقديم التيارات اللازمة (وسطياً ليس في كل الأوقات)

من قبل البطارية والحمل بما فيها تيار إعادة الشحن. في هذه الحالة تبقى البطارية في حالة شحن كامل وتقدم التيار الوسطي الاحتياطي بالإضافة لبقاء التيار الوسطي الاحتياطي ضمن إمكانية الشحن.

ضمن شروط التشغيل المشار إليها بالنمط 'buffer' (أو نمط العزل)، لن يكون المطال الكبير لدورات تيار الحمل الناتج عن البطارية قادراً على تقبل كل التيار الاحتياطي خلال فترات توفره بشكلٍ كاف. في ظل هذه الشروط، لن يتم شحن البطارية ضمن كل هذا الزمن مما يقود إلى إضعاف السعة المتوفرة يتمثل أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة في تقديم عملية شحن معزّز (boost charge) للبطارية عندما تكون مفصولة عن النظام (off line).

شحن *بطاريات الجر، والإقلاع، والبطاريات المحمولة:* تتم عملية شحن هذه الأنواع من البطاريات من مصادر منفصلة (عادة محول/مقوم). ففي حالة العربات الكهربائية يتم تنفيذ عملية شحن البطارية على متن العربة ذاتها. وفي بطاريات الرصاص–الحمض التي يعتمد أداءها وعمرها بشكل كبير على نظام الشحن الكافي، تستخدم ثلاثة أشكال للشاحن عادةً، الشاحن المتناقص ذو الخطوة الواحدة، الشاحن المتناقص ذو الخطوتان، والشاحن ذو التحكم النبضي.

ففي الشاحن وحيد الخطوة، يبقى الجهد ثابتاً تماماً ودون نقطة التحول الغازي للبطارية وهو 2.4 V لكل خلية. لدى وصول جهد البطارية إلى هذه النقطة يبدأ التيار بالتضاؤل حتى تصبح البطارية مشحونة تماماً. أما عندما تتم عملية الشحن على خطوتين، فتسير الخطوة الأولى كما ورد أعلاه، ومن ثم يتم تخفيض التيار إلى قيمة محددة مسبقاً، وتستمر عملية الشحن لفترة زمنية محددة مسبقاً. وفي نوع الشاحن النبضي الذي تم استنباطه للمحافظة على البطارية بحالة الشحن الكامل. تستقبل البطارية نبضات شحن قصيرة عند توقف عملية الشحن الرئيسية، يتم التحكم بهذه النبضات عن طريق جهد البطارية وذلك عند الدخول في الدارة المفتوحة.

دارات الشحن المتعددة: تطبق هذه الدارات عند إعادة شحن البطاريات لأجهزة الشحن الكهربائية وهو التطبيق الأكثر انتشاراً. وتتكون منظومة الشحن النموذجية من واحد أو أكثر من أجهزة الشحن التي تقدم تياراً مستمراً

لخطوط النقل المشتركة، وإلى عدد من الألواح حيث تم تصميم كل منها لشحن بطارية بمفردها. تدعى هذه المنظومة عادة "منظومة الطاقة الكامنة الثابتة المعدلة" (modified constant potential system). يمكن أن يكون مصدر الطاقة مجموعة مولد/محرك أو منظومة تقويم. ويجب أن تمتاز بجهد ثابت من أجل حمل بتسامح ±3% وسعة تيار تساوي إلى مجموع التيارات المولدة عن طريق جميع الألواح المشحونة المستقلة.

طالما لا يوجد حدود لعدد البطاريات التي يمكن شحنها عن طريق آلة واحدة، يستخدم عادةً عدد من أجهزة الشحن الموصولة على التفرع على خط ناقل وحيد للتيار المستمر ويتم فصل النظام إلى عدة مجموعات إذا ما أردنا شحن أكثر من 20 إلى 30 بطارية.

عند استخدام خط نقل وحيد للتيار المستمر، يفضل أن تتكون جميع البطاريات من نفس عدد الخلايا وأن تكون من نفس النوعية إما الرصاص-الحمض أو القلوية. ومع هذا يمكن أن يختلف معدل استطاعة البطاريات المستقلة كل على حدة.

الدارة الأساسية للّوح هي ببساطة مقاومة كبح على التسلسل مع البطارية مقابل خط نقل التيار المستمر.



أنظمة إدارة الكبلات

بسبب الزيادة الدراماتيكية في المتطلبات الكهربائية والإلكترونية لكافة أنواع الأبنية: المترلية، التجارية، والصناعية، أصبح من الضروري توفير أنظمة توصيل آمنة وقابلة للتكيف بمعنى أنه يمكننا تغيير أجزاءاً منها بسهولة بدون التأثير على تغذية الأجزاء المتبقية. يعتبر ذلك أساسياً بالنسبة للشبكات التي تقوم بتغذيه ما يسمى بالمكاتب الإلكترونية والتي يجب أن تزود بالمعطيات، وتسهيلات الاتصالات بالصوت والصورة، وخدمات المباني والإنارة والطاقة والتأريض والحماية من الصواعق.

لا تقتصر المساعدات الإلكترونية (electronic aids) للمكاتب فقط، بل تمتد لتشمل أنواع المباني الأخرى كالمشافي، ومنافذ البيع بالتجزئة، والفنادق، والمنشآت الصناعية. لكل مبنى متطلباته الخاصة من الكبلات، حيث تتغير كثافة هذه الكبلات ودرجة التنوع في استخدامها بشكل كبير.

يجب أن ينعكس هذا الأمر في تصميم نظم إدارة الكبلات بحيث تصبح سهلة الملاءمة والتعديل لتناسب التنوع الواسع في إمكانات التزويد مع الحد الأدنى من الجهد المبذول وعمليات التبديل والتعديل على المكونات. يمكن توقع تعديلات متكررة في المكاتب التجارية العصرية، وبخاصة في المؤسسات المالية التي تحوي العديد من الأجهزة المرتبطة مع الحواسيب، وكذلك تسهيلات الاتصالات والمعلومات عن

بعد، ولكن على الطرف الآخر للطيف، الفنادق، يمكن أن نحتاج فقط لتعديلات في المكاتب ومناطق الاستقبال.

هذا النمو في أنظمة الكبلات، نتج عن الزيادة السريعة لتكنولوجيا المعلومات (IT) (information technology). لمنع عملية الحصول على كتل ضخمة من الكبلات الرخوة (حرة الحركة) والتي يصبح من الصعب السيطرة عليها، قام مصنعو معدات التوزيع الكهربائي بتصميم أنظمة متكاملة باستخدام معدات وتجهيزات التوزيع الكهربائي بتصميم لاستخدام الكبلات الرئيسية والمجاري والحوامل والسلالم وتدعيم الكبلات. يطلق على هذا النظام اسم "نظام إدارة الكبلات" (cable management systems) وقد اتخذت العديد من الأشكال وزودت المستخدم بتسهيلات متعددة الجوانب والاستعمالات، منها القابلية الجيدة للتعديل بحيث تلائم التغييرات المتعاقبة في شبكة التغذية، وفي نفس الوقت فهي آمنة حتى عند تغييرها.

الأنظمة المتكاملة

لا يوجد هناك تعريف مميز للنظام المتكامل لإدارة الكبل ولكن التعريف التالي يمكن أن يغطيه بشكل واف:

> إن نظام إدارة الكبل المتكامل هو عبارة عن مجموعة مؤلفة من الكبل المغلف (enclosed) والملحقات المساندة (كمواسير الأسلاك، مجموعات الكبلات الصادرة عن علب التوزيع، الصناديق الأرضية، المآخذ أو المنافذ الأخرى، السلالم ladders والصواني trays)، ومصممة لتشكل منظومة متكاملة بحيث يمكننا إجراء تعديلات صغيرة دون الحاجة لفصل الشبكة بالكامل أو تعريض الأفراد العاملين فيها للخطر.

يجب التشديد على أن الوظيفة الأكثر أهمية هي أن تكون المنظومة متكاملة (Integrated)، ويعني ذلك أن كل قطعة من التجهيزات يمكن أن تتداخل مع القطعة التالية من دون أي فجوات، أو وصلات غير محكمة، ...إلخ. وبالتالي فإن التمديدات ستكون محمية في كل جزء من أجزاء الشبكة، بدءاً من نقطة التغذية

وانتهاءاً بنقطة الاستعمال. علاوة على ذلك، إذا احتاج المستثمر لإجراء تغيير في أي جزء من التمديدات، فمن الضروري أن يتم هذا الإجراء بيسر وبساطة. على سبيل المثال، إذا اقتضى الأمر تغيير مكان الحاسب ضمن المكتب، أو أي جزء من المكتب، فيجب أن يكون ذلك ممكناً من دون الحاجة لفصل كافة الأجهزة الأخرى الموجودة في الخدمة على نفس الشبكة.

لا يغطي التعريف الوارد أعلاه بعض الأنظمة الخاصة كطريقة الكبل المسطح (flat cable) وطريقة حامل الكبل (cable harness) اللتين يتم استخدامهما لأداء نفس الوظيفة بشكل جيد على حد سواء، وسيتم تقديم شرح عنهما لاحقاً في هذا الفصل. من المهم أن تكون هذه النظم المتكاملة، ومكوناتها المختلفة، متوافقة مع المعايير الدولية IEC أو المواصفات القياسية البريطانية، وذلك لأنه توجد العديد من المنتجات الصغيرة والثانوية في الأسواق واستخدام أياً منها، مهما كان صغيراً، في النظام سيؤدي إلى نتائج خطيرة على مستوى السلامة في النظام ككل. بشكل خاص، يجب أن يحقق النظام المتكامل حيثما كان متطلبات المواصفة BS 7671 والتي كانت تمثل سابقاً تعليمات التمديدات IEE. فيما يلي وصف للمكونات المختلفة للنظام المتكامل.

المجاري

هناك ثلاثة أنواع لأنظمة المجاري يمكن الاختيار من بينها: المجاري المعدنية (metal)، والمجاري العازلة (insulating) والمجاري المركبة (composite). تكون المجاري المعدنية عادةً من الفولاذ، ولا تمتلك المجاري العازلة عادةً على مركبات ناقلة ويكون البعض منها من مادة uPVC، أما المجاري المركبة فهي تشتمل على كل من المواد المعدنية والمواد العازلة وتكون مرنة عادةً.

لدى إقرار شراء نظام مجاري ما، والاتجاه لترتيبات تمديد كبلات أخرى، فمن الحكمة ضمان توفر كافة الملحقات الضرورية الأخرى من قبل المصنع والتي قد تشمل على الأكواع وعلب التوزيع وعلب التوصيل ... إلخ.

المجاري المعدنية: يمكن لهذه المجاري أن تكون من الفولاذ أو الفولاذ غير القابل للصدأ، حيث تستخدم الأخيرة في الأماكن المعقمة مثل أماكن تحضير الأطعمة.

ينتسب الموردون المحترمون عادةً إلى جمعية الأنظمة الكهربائية البريطانية (BESA) ومن الممكن أن ينتسبوا إلى جمعية مصنعي الأنابيب الفولاذية الملحومة البريطانية BWSTMA. حيث تكون القوة الميكانيكية مطلوبة، يختار العديد من المستخدمين الفولاذ، ولكن هناك دائماً خطر التآكل عند تضرر الطلاء لأي سبب كان وبأي وسيلة كانت. يركز معظم المنتجون على توفير الصنف الثاني (Class 2)، طلاء أسود حراري من الداخل والخارج، والصنف الرابع (Class 4) المغلفن بالتغطيس الساخن على كلا الجانبين الداخلي والخارجي. ويتم تأمينهما كليهما بالحجم الخفيف (سماكة الجدران 1 mm تقريبا) وبالحجم الثقيل (سماكة الجدران حتى 2 mm).

المجاري العازلة (Insulating): وغالباً ما تدعى بالمجاري البلاستيكية، وتشمل على مجال هائل من المواد المختلفة، ولكننا سنخفض المناقشة هنا على المجاري المصنعة من البلاستيك الصلب uPVC. تتوفر المجاري الصلبة بأحجام خفيفة أو ثقيلة تمتد من قطر 16 mm وحتى 50 mm. لا حاجة هنا للوالب لربط المقاطع المتجاورة مع بعضها البعض كما هو الحال بالنسبة للشبكة المعدنية، حيث يتم استخدام مواد لاصقة خاصة. ويتوفر منها الأبيض والأسود، وباعتبار أن هذه المجاري مصنعة من مواد بلاستيكية فلا يوجد خطر التآكل. يمكن للأنواع عالية الضغط أن تقاوم خشونة الجوانب في المكان، وتتوفر منها مقاطع بيضوية أو بروفيل قليل العمق عند الضرورة.



الشكل (22.1) للمجاري المعدنية من الصنف الثاني والرابع نهايات ملولبة، ونهاية محمية.

مد المجاري: تدعى هذه العملية في بعض الأحيان بالتغطية "capping" ويمكن استخدامها للمفاتيح الساقطة (drop switch) والكبلات المطمورة في الجص، لتأمين الحماية ضد مخاطر قد تأتي عبر المسامير المدقوقة في الجدران خلال فترة عمل هذه التمديدات.

المجاري المرنة (flexible): يتم تعريف المجاري المرنة في الجزء الأول من المواصفة BS EN 50086 على النحو التالي: مجرى مرن يمكن ثنيه باليد، وبقوة معتدلة، وبدون أية مساعدة أخرى كما يمكن ثنيه مراراً خلال فترة صلاحيته.

يعرف المجرى المرن كمجرى يمكن ثنيه باليد وبقوة معتدلة وبدون أي مساعدة أخرى. على كل حال، من المهم إدراك وجوب عدم استخدام المجرى المرن مطلقاً حيث المرونة المستمرة مجربة. تتوفر المجاري المرنة بالشكل الفولاذي أو البلاستيكي، وبشكل خاص الفولاذي، وبعدة أشكال متنوعة. وللمجاري المرنة من النوع liquidlight عادةً قلب فولاذي مع غلاف من PVC وتستخدم بشكل خاص كأجزاء توصيل وهي مصممة لتأمين درجة الحماية IP67.

نظم/أقنية الكبلات

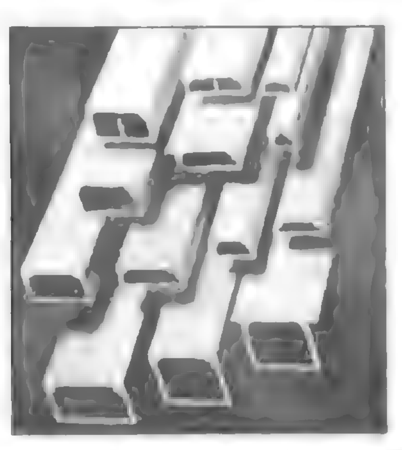
في هذا القسم، سنتعامل فقط مع الأقنية التي تحوي وتحمي نقاط توصيل الكبلات لشبكة كهربائية ما. يتم التعامل مع الحدود الخارجية، طاولة العمل، والأقطاب والمواقع من خلال أقسام خاصة بها. تتوفر أقنية الكبلات في ظل هذا التعريف على شكلين: المواد المعدنية والمواد البلاستيكية. يتم تسويق ثلاثة أنواع من الأقنية المعدنية المتوفرة وهي، الفولاذ، الفولاذ غير القابل للصدأ والألمنيوم. وحيثما نريد تحديد مواد غير قابلة للاشتعال، يكون الخيار واقعاً بين هذه الأنواع الثلاثة.

تنطلق الغازات السامة عن بعض المواد البلاستيكية عند تعرضها للهب، غير أن هناك تصاميم للأقنية العازلة تخلو من الهالوجين. بعض المواد البلاستيكية تعيق اللهب، بينما لا تحترق المواد الأخرى حالما يتم إزالة اللهب. قد تكون ميزات المقاومة الحرارية مهمة جداً من أجل تغليف كبلات دارة إنذار الحريق والتي يجب أن تبقى في العمل طالما كانت النيران متواجدة. في حين تكون الغاية من أقنية الألمنيوم هي حماية كبلات المعلومات من التشويش.

عندما تمتد أي قناة بشكل شاقولي، وبشكل خاص عندما تمتد عبر الأرضيات أو عندما تمتد لمسافة تتعدى 5 أمتار، يجب تضمينها أحد أنواع الحواجز (barrier) المضادة للحريق. وهذا ما يعالجه بتفصيل أكبر المرجع المشار إليه آنفاً. تتوفر الأقنية الفولاذية بأحجام تمتد من 38x38 mm وحتى 300x300 mm كما هو مبين في الجزء الأول من BS 4678.

تنتمي الأقنية البلاستيكية عادةً إلى نفس مجال الأحجام، ويجب على المرء أن يأخذ بالاعتبار، لدى إجراء مقارنة بين أنظمة التمديدات البلاستيكية والمعدنية والأجزاء التي تتكون منها بأن أحد أهم وأكبر ميزات التصاميم البلاستيكية تتمثل في خفة وزنها بالمقارنة مع التصاميم المعدنية. وهناك أيضاً سهولة تقطيع المجاري والأقنية بالأطوال المناسبة وسهولة توصيلها مع بعضها البعض.

الأقنية متعددة الأقسام (multi-compartment trunking): تتوفر كل من الأقنية البلاستيكية والمعدنية بتصاميم متعددة الأقسام كما هو مبين في الشكل (22.2) وذلك لتأمين عزل (segregation) كامل للكبلات في الأقسام المنفصلة. وتمتاز الأقنية المعدنية بميزة إضافية متمثلة بتغليف الكبلات عند الأجزاء المتجاورة.



الشكل (22.2) أقنية متعددة الأقسام من مادة uPVC

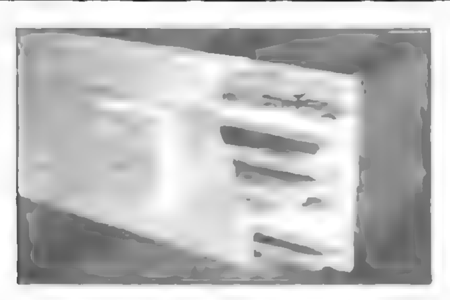
يمكن أن تقبل بعض تصاميم الأقنية متعددة الأجزاء موزعات على الأغطية، بحيث تحول هذه الأقنية إلى أنظمة الأقنية المحيطية المناسبة للتركيب على الأرضيات أو على المستويات المنخفضة.

المركبات واللوازم: تكون أغطية الأقنية البلاستيكية عادةً من النوع المثبت بواسطة مشبك (clip-on)، بينما في التصاميم المعدنية، يتم استخدام بعض أنواع المثبتات الميكانيكية من قبيل براغي الشد (turnbuncle). من المهم لدى شراء الأقنية التأكد من توفر مجال كامل من اللوازم والملحقات بما فيها وحدات الزوايا ووصلات T والأكواع ووصلات التحويل وحواجز الكبلات والوصلات وحلقات (أو وصلات) الاقتران والربط والمخفضات والملائمات ، ...، إلخ.

استمرارية الأرضي: أحد أهداف ميزات أنظمة توزيع الكبلات المعدنية هو الغلاف المعدني الذي يمكن أن يستعمل كناقل مستمر للأرضية (e.c.c) وهذا ما يؤدي إلى توفير في الفراغ الذي تشغله الكبلات. تسمح BS 7671 بذلك ولكن هناك دوماً خطر انقطاع الدارة بسبب التآكل أو بسبب انقطاع الوصلة، ويفضل معظم المركبين مد (e.c.c) بشكل منفصل داخل الأقنية.

أنظمة الأقنية المحيطية

تشمل أنظمة الأقنية المحيطية على الحواشي (أو الإزار skirting) والوصلات المستعرضة (dado) (والتي تدعى أحياناً بالوصلات تحت العتبة). وتكون مصنوعة من البلاستيك كما في الشكل (22.3) أو الفولاذ أو الألمنيوم. الأنظمة البلاستيكية والفولاذية مغطاة في الجزأين الأول والرابع من المواصفة القياسية BS4678 على التوالي، على الرغم من عدم وجود معالجة بشكل محدد مع الأنظمة المحيطية المسماة (perse)، تناسب الأنظمة المحيطية التمديدات المنزلية والتجارية والصناعية وهي مثالية من أجل تطبيقات الجلي أو الصقل (التجديد).



الشكل (22.3) الأقنية الخارجية المصنعة من البلاستيك مزودة بشبه بروفيلات صغيرة وبثلاثة ألوان

بشكل أساسي، يتم تصميم الأنظمة لاحتواء كبلات الإنارة الشديدة والاتصالات والمعلومات ولكن هناك بعض المنظومات الهجينة التي تؤمن خدمات أخرى أيضاً مثل إمكانية احتواء أنابيب الهواء المضغوط أو أنابيب التسخين.

يقوم أحد هذه التصميمات بضم الأسلاك مع قضبان الحماية. تعتبر التمديدات متعددة الأجزاء بمثابة المعيار مع الخدمات المتنوعة التي تشغل أقساماً منفصلة ومستقلة. وهذا ما يسمح بالعمل في إحدى الخدمات الموجودة بدون التدخل بعمل الخدمات الأخرى. يمكن تركيب بعض المقابس (الموزعات) الخارجية على الجدران وبذلك تكتسب هذه الأنظمة مواصفات الأنظمة المحيطية على الرغم من محدودية طولها وعدم انتمائها لذات الفئة كنظام خارجي حقيقي.

عادةً يتم إجراء تمديد منظومة الأقنية بالكبلات، ولكن هناك بعض التصاميم التي تدمج قضبان ناقلة (busbar) تستخدم لتغذية موزعات المقابس بالطاقة. تتوفر الأقنية المفرّزة (cornice) لتؤمن حلول مثالية للتمديدات داخل الأبنية في الخرسانة للسقوف والأرضيات. يتجه المصنعون لتصميم هذه الأقنية لتتكامل مع مجالاً خاصاً من الأقنية المعيارية الخاصة بهم.

الأجزاء المحجوبة (screened compartements): من أجل بعض الحواسيب ودارات المعلومات، تتوفر أجزاء محجوبة مستقلة للأنظمة البلاستيكية، يمكن بناؤها في جسم شبكة الأقنية أو توفيرها كأجزاء معدنية إضافية يتم تثبيتها على التصميم القياسي.

لا تحتاج الأنظمة المعدنية إلى معالجة خاصة باستثناء الحالة التي لا تشكل فيها هذه الأجزاء غلافاً (enclosure) متكاملاً.

مواقع موزعات المقابس: تتمثل إحدى مميزات المنظومات المحيطية في سهولة تركيب عدد من نقاط توزيع، حسب الحاجة، في أي موقع على امتداد هذه المنظومة، وبذلك تسمح بتخفيض المسافة بين الموزعات المتجاورة إلى الحدود الدنيا. يكون موقع هذه الموزعات إما على غطاء القناة نفسها أو على قطعة إضافية مركبة فوقها، وبذلك ترفعها إلى مستوى أعلى من الأرض كما تنصح المواصفة BS 7671.

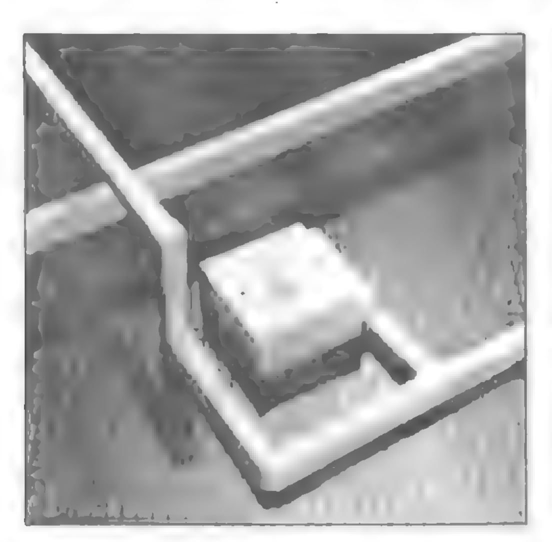
الأشكال: هناك شكلان تصميميان شائعان: الشكل الأول ذو مقطع مستطيل، أما الشكل الآخر فيضم غطاء مستو مشطوف (chamfered). يمكن أن تكون الحواف المشطوفة متناظرة أي يتم قطع كل من أعلى وأسفل الغطاء. أو قد تقتصر على الجزء العلوي من القناة فقط. جميع هذه الأشكال ذات عمق ضيق حيث يمكننا زيادة سعة الكبلات لهذه الأقنية عن طريق زيادة ارتفاعها. هناك ثلاثة تصاميم شائعة حيث يكون القسم المركزي هو الأكبر بينما يكون للقسمين العلوي والسفلي الأبعاد نفسها.

القنوات المصغرة

تم استخدام منظومة القنوات المصغرة (تعرف اختصاراً بالأقنية المصغرة (mini-trunking بشكل أساسي في عمليات تجديد الأبنية السكنية وفي منشآت الإضاءة التجارية. بفضل كونها مصنوعة من البلاستيك ويمكن تركيبها سطحياً (surface-mounted) دون حفر، فهي تساعد في عمليات التمديد السريع حيث يمكننا تمديد شقة صغيرة خلال يوم واحد.

بعد ذلك، بدأت تطبيقاتها تمتد إلى الأبنية الجديدة، ليس فقط لاحتواء كبلات الطاقة والإنارة، ولكن أيضاً لاحتواء منظومات الاتصالات والإنذار والمعلومات. تتميز جميع الأقنية الصغرية بكونها بسيطة الشكل وقليلة العمق (تصل في بعض المنتجات إلى 7.5 ملم تقريباً غير أنها وسطياً تتراوح بين 12.5 إلى 16 ملم). يظهر الشكل (22.4) منتجاً نموذجياً من هذا النوع.

هناك طريقتان لتثبيت هذه الأقنية: الأولى عن طريق البراغي (أو المسامير) والثانية بواسطة اللصق. في النوع الأخير، تضم القناة، وعلى الجانب الخلفي منها، شريطاً لاصقاً يجب نزع الغطاء عنه قبل استخدامه للتثبيت، حال تثبيت القناة ذات الشريط اللاصق على الجدار أو السقف، يصبح من الصعب ضبطها (معايرتها) على عكس الأقنية ذات طريقة التثبيت الميكانيكية (بواسطة البراغي). يمتلك أحد التصاميم المتوفرة عناصر خاصة للتثبيت (مشابك clip-on) مما يساعد على تركيبها بسرعة أكبر. لتقديم فكرة عن أحجام هذه الأقنية، ينتج أحد المصنعون ثمانية مقاطع مختلفة تتراوح بين 16 mm (مقطع مربع) وحتى مقطع بعرض 50mm وعمق 32mm على الرغم من أن معظم هذه الأقنية ذات جزء وحيد. يتوافر في الأسواق تصاميم محدودة ثنائية الأجزاء (two-compartment).



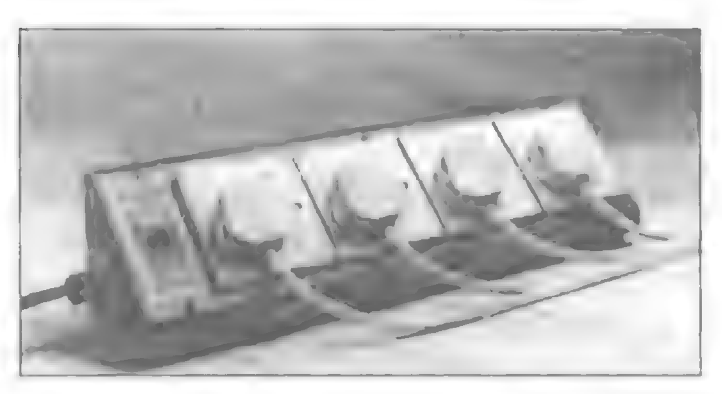
الشكل (22.4) نموذج للأقنية الصغرية يظهر فيه طرق الوصل وبعض الملحقات

أما أغطية هذا النوع من الأقنية فتكون جميعها من النوع ذي المشابك (clip-on) وهي إما أن تكون متسقة مع القناة (flush) أو متراكبة (overlapped) فوقها. هناك،

على الأقل، مورد واحد يوفر أغطية ذات مشابك ثنائية القفل وذلك لتوفير الأمان إذا اقتضى الأمر.

نظام الأقنية لطاولات العمل

هذا النظام غير معرّف في المواصفة BS 4678 بالرغم من استخدام الأقنية القياسية كدليل من قبل المصنعين. يوصف هذا التعبير قناة معدنية أو بلاستيكية ذات شكل مثلثي بوجه مائل تحمل منافذ المقابس كما في الشكل (22.5)، على الرغم من أن الأقنية ذات المقطع المستطيل والمزودة بمنافذ مقابس متعددة تؤدي نفس الوظيفة إذا تمت ملاءمتها للتركيب على طاولة عمل. عند الضرورة، يجب أن تكون هذه الأقنية متوافقة مع المواصفة القياسية BS EN60529 والتي تتعامل مع عملية دخول الأجسام الأجنبية (ingress)، بمعنى أن عملية التركيب قد تتطلب رقماً تعريفياً (IP). يمكن توصيل هذه الأقنية بأسلاك عادية أو قد تتضمن قضبان ناقلة على شكل ممررات (busbars)، تتوفر هذه الأقنية بأطوال محددة عادة على الرغم من أنها قد لا تكون عائدة لنفس المصنع. يمكن لبعض التصاميم أن تأتي مجزأة لتلائم خدمات أخرى كما يمكن أن تأتي موصلة بشكل مسبق (prewired).



الشكل (22.5) قناة معدنية بوجه مائل ذات أربعة منافذ للمقابس ومزودة بكبل بطول 2m ومنصهرة 13A.

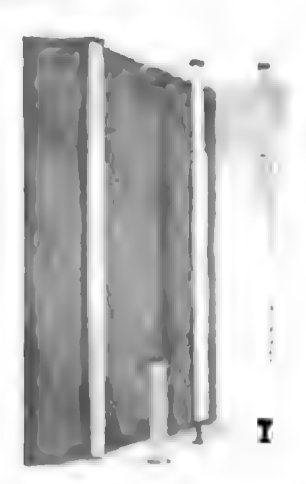
وسائط التيار المتبقي: لتأمين الحماية من أعطال الأرضي، يقوم عدد من المصنعين بتوفير وسائط التيار المتبقي كمعيار في منتجاتهم وبذلك يتم تلبية متطلبات المواصفة BS 7671.

التغذية النظيفة: يقوم تصميم خاص من هذه الأنظمة بحماية الأجهزة الحساسة من الإشارات العابرة (transients)، والنبضات المفاجئة (spikes)، والتذبذبات الناتجة عن عمليات الفصل/الوصل وكذلك من التشويش الناتج عن الترددات العالية وعن تذبذبات الإضاءة. يمكن استخدام هذه الأنظمة لتغذية الحواسب وبعض أجهزة المعطيات الحساسة. يمكن أن نطلق على هذه المنظومة اسم "ملائمات الطاقة Power conditioner" كالنظام الذي يوصفه المعيار BS EN 60950.

اقطاب ودعامات الخدمة

تم تطوير أقطاب (poles) ودعامات (postes) الخدمة لتلبية الطلب على الطاقة المركزة، وعلى تسهيلات الاتصالات ومنافذ المعطيات في المكاتب المفتوحة، ومحطات العمل المعزولة، ومناطق الاستقبال وفي المؤسسات المالية (22.6).

عادةً ما تكون متطلبات الطاقة صغيرة بشكل كاف، بحيث يمكننا الحصول عليها من علب توزيع أرضية تابعة لمنصة تركيب أرضيةً. بشكل أساسي، تكون هذه الأقطاب والدعامات على شكل مقاطع مجاري متعددة الأجزاء منتصبة على الأرض وتحوي موزعات على جانب واحد أو عدة جوانب منها. يمكن تغذية الأقطاب من الأرضِ (كما أشرنا لذلك) أو من السقف، بينما يتم تغذية الدعامات (والتي تمثلِ نسخاً مجزأة من الأقطاب) من علب التغذية الأرضية. تتكون جميع التصاميم فعلياً من أعمدة الألمنيوم المبثوق بغية تأمين النعومة اللازمة، مع أغطية مزودة بمشابك فوق الأقنية المشكلة، المعدنية أو البلاستيكية، والتي تحمل المنافذ المتنوعة. يمكن لبعض الأقطاب أن تتضمن واحداً أو أكثر مما يلي: مفاتيح إنارة، قواطع، مصادر أو نقاط ضوئية، وحدات إنذار حريق زجاجية، أو أي عناصر أخرى، قد تعود إلى زيادة ملاءمتها للاستعمالات المتعددة.



الشكل (22.6) دعامات أحادية الجانب من الألمنيوم، مناسبة للتركيب مقابل الجدران

وبالرغم من أن الشكل النموذجي هو الشكل ذو المقطع المربع أو المستطيل، يمكن أن تتواجد بعض الأجزاء ذات التصاميم الدائرية أو البيضوية مع القابلية المسبقة لحل المقابس (المنافذ).

الأنظمة الأرضية المجوفة

يمكن استخدام عدة مصطلحات للتعبير عن أنظمة التمديدات المركبة ضمن الفراغ الموجود أسفل الأرضيات أو بمحاذاة هذه الأرضية. تعتبر المصطلحات من قبيل: الوصول (access)، الوصول المرفوع (raised access)، المنصة (platform)، الأرضية المرفوعة (raised) أو المجوفة (cavity) أمثلة عن هذه التعابير. قد يتم استخدامها لوصف النظام الكلي أي التمديدات وطرق التغليف أو تستخدم لتوصيف الكبلات أو الأقنية. لا توجد معايير بريطانية تغطي هذه الأنظمة، ولكن الوثيقة الصادرة عن Property Services Agency ذات الرمز MOB PF2 PS "أرضيات المنافذ المرتفعة" يلتزم بها جميع المنتجين المحترمين.

نستخدم في هذا القسم، المصطلح "نظام الأرضية المجوفة" في وصف شبكة التوزيع الكهربائية الكاملة التي تخدم علب التوزيع الأرضية أو أية تسهيلات أخرى تؤمن الطاقة، المعلومات، الاتصال، أو الخدمات الحاسوبية للأجهزة الطرفية. تستخدم المقابس القابلة للضبط في دعم الأرضية المدعمة (المموهة) وتأمين الفراغ فيما بين الدليل screed والجانب السفلي للأرضية من أجل تخديم الكبلات. غالباً ما تدعى هذه المنظومة بتصميم القاعدة (pedestal) (الأساس)، ولكن هناك منظومات أرضية لا تعتمد على المقابس القابلة للضبط في توفير الحيز اللازم للكبلات ويصطلح على تسميتها بالتصاميم عديمة القاعدة (non-pedestal).

التصاميم عديمة الأساس أو القاعدة: تتوضع القطع الأرضية بالقرب من الأرضية الإنشائية ويراد للقطع المستقلة أن تكون مثبتة دوما، بحيث يتم اعتماد مواقع مخارج الخدمة في مرحلة التصميم. وتنخفض، بالتالي، إمكانية استخدام التمديدات لأغراض مختلفة. يكون عمق الأرضية حرج أيضاً، ويؤدي إلى تقييد الخيارات المتاحة أمام المستخدم. من أنواع التصاميم عديم القاعدة يمكننا أن نذكر النوع ذا الأرضية المخددّة (fluted desk) والنوع ذا العوارض (batten) حيث يسمح النوع الأخير بدرجة أكبر من التنوع في الاستخدام بعد تركيبه. إحدى كبرى إيجابيات هذه الأنظمة نحصل عليها عندما لا يكون هناك فراغ كبير بين الأرضية والسقف لا يمكن تغييره (بمعنى خلال عملية إعادة تجديد المباني).

التصاميم ذات القاعدة (pedestal designs): يمكننا الحصول على أي عمق للأرضية الخالية من 40mm وحتى 1000mm وحتى أكثر من ذلك في بعض الحالات الخاصة حيث قد تكون بعض الخدمات الأخرى (كالتدفئة المركزية أو التكييف) موجودة أيضاً ضمن هذا الفراغ. تستخدم عادةً المقاطع المربعة أو المستطيلة وبالحجم الشائع 1200 × 600 mm للأنواع الثابتة و 600 mm مربعة للتصاميم القابلة للإزالة.

الأنظمة الكهربائية: مبدئياً، هناك ثلاثة نظم محددة لإدارة الكبلات، تستخدم مع الأرضيات المجوفة، مع اختلافات واضحة بينها. في النظام الأول، يتم احتواء الكبلات في أحد أشكال الغلاف المثبت إلى الأرضية السفلية، الشكل (22.7). كخيار آخر، يمكن تركيب غلاف الكبل ضمن لوحة الأرضية المخددة. يمكن أن

تمتد الكبلات في النظام الثاني على الأرضية السفلية لربط المكونات مع بعضها البعض، وتدعى في بعض الأحيان أنظمة وصلة القبس. أما في النظام الثالث فيتم تعليق الغلاف أقرب ما يكون للجانب السفلي من اللوحات الأرضية.



الشكل (22.7) أنظمة تمديدات الأرضيات المجوفة

أنظمة الأرضية السفلية: يتم في بعض أنظمة وصلة القبس Plug and socket systems وصل الكبلات مع بعضها البعض عن طريق عدد من علب تغذية المنافذ إلى الأرضية السفلية، تقوم هذه العلب بتغذية مقابس الخدمة المركبة في لوحات الأرضية. إذا كان لعلب المغذيات هذه سعة احتياطية، عندها يمكننا تركيب مقبس أرضي آخر وببساطة عن طريق أحد المقابس الاحتياطية. ويتم المحافظة على عزل الخدمات ضمن علب التغذية. هناك تغيير يحصل عند استبدال الكبلات بمنظومة قضبان ناقلة (busbar) حيث تتم تغذية علب منافذ الخدمة عن طريق الوصل المباشر معها.

يقوم نظام إدارة الكبلات الأرضية المجوفة الأكثر شيوعاً على تثبيت الأقنية المجزأة (البلاستيكية أو المعدنية) إلى الأرضية السفلية والتي تحتوي على الكبلات الخدمية. وثم تؤخذ تغذية علب التوزيع (المنافذ) من خلال مجاري مرنة، وبذلك تتم المحافظة

على عزل الخدمات. هناك العديد من الفوارق بين الأنظمة الأرضية السفلية المعروضة أعلاه تجدها مفصلة أكثر في الكتاب المشار إليه آنفاً.

أنظمة الأرضية المنبسطة (flushfloor systems): وتكون عادة على شكل أقنية معدنية تثبت أغطيتها مباشرة على ألواح الأرضية ثم يتم ملاءمة علب التوزيع ضمن الغطاء في أي مكان نريده على طول هذه الأقنية.

الأنظمة تحت اللوحة (underpanel systems): يتم رفع هذه الأقنية المعدنية متعددة الأجزاء إلى موقعه عبر مجموعة من مقابس التثبيت بحيث يلامس السطح العلوي للقناة الجانب السفلي من الأرضية وبالتالي لا حاجة لوجود أي غطاء لهذه الأقنية. تترك البلاط الإنشائي حراً للخدمات الأخرى أما الكبلات فهي تظهر على ارتفاع مناسب للعمل.

علب التوزيع (outlet boxes): بشكل أولي، تتكون علبة التوزيع من ثلاثة أجزاء هي القاعدة، المقطع الداخلي، الذي يحمل الشرائح اللازمة، والجزء العلوي الذي يحمل الغطاء عادةً، يمكن الحصول على عناصر الموازنة بشكل مستقل. تأتي القاعدة على شكل أجزاء - أربعة أجزاء عادةً - للحفاظ على العزل بين الأجزاء وفق التصميم متعدد الأجزاء، على الرغم من أن بعض المصنعين ينتجون قواعد بعدد أجزاء أكبر. تؤمن عمليات الضرب على جانبي القاعدة سهولة تركيب مجرى مرن 20 mm أو 25 mm وتتوفر العلب بشكل مستطيل أو دائري.

منظومات التوزيع الأرضية

تناول هذه الفقرة جميع أنواع أنظمة التوزيع الأرضية باستثناء المجوفة التي تم التطرق إليها سابقاً، بما فيها الأنظمة الدليلية والأرضيات المخددة البلاستيكية والمعدنية وأنظمة undercarpet والعلب القاعدية المرتبطة بالأنظمة تحت السطحية.

الأنظمة الدليلية (screeded systems): هناك نوعان من الأنظمة الدليلية، الأول على شكل غلاف كبل مدفون في الدليل مع إمكانية النفاذ عند مستوى الأرضية المنتهية فقط من خلال وصلة وعلب التوزيع الخدمية، مع وصل داخلي بين علب التوصيلات الكائنة عن طريق مجاري مفردة أو متعددة يتم عبرها سحب الكبلات.

أما النوع الآخر فهو ذو أقنية مثبتة إلى الأرض حيث يكون الدليل متوجهاً للأعلى باتجاه الغطاء المأخوذ كمرجع الشكل (22.8). يتم تأمين الوصول الكامل عن طريق نزع الغطاء المستخدم لاحتواء علب التوزيع أو من أجل التصميم المعياري تقوم موزعات الخدمة بالحلول مكان جزء من الغطاء.

أنظمة undercarpet: بشكل أساسي، هناك طريقتان يمكن من خلالهما نقل خدمات الطاقة والاتصالات والمعلومات إلى الأجهزة، إما عبر أقنية متعددة الأجزاء ذات بروفيل مسطح جداً أو عن طريق كبلات ذات تصميم خاص رفيعة جداً. تكون منظومة الأقنية عادةً من البلاستيك، وتستعمل الكبلات التقليدية. نموذجياً تمتلك المنظومة ثلاثية الأجزاء الأبعاد 60 mm عرض وبعمق 14 mm. يقدم بعض الموردوين الآخرون أبعاداً أخرى هي 70 mm للعرض و 9.6 mm للعمق. تقوم منظومات الأقنية هذه بتغذية علب ذات قاعدة لها بروفيل مسطح يمكن تركيبها مع الموزعات اللازمة وبشكل عام تبقى على الأرضية أي تكون مرئية. تقع تصاميم الكبلات المستوية تحت الأثاث (السجاد) وهي ذات قدرة خدمية فردية يمكن مكاملتها لإعطاء الخدمات الثلاث جميعها. في هذه الحالة نحتاج لعلب توزيع خاصة.

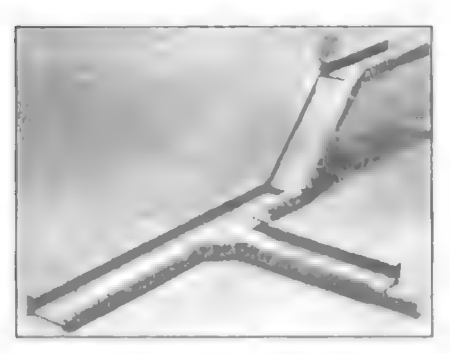
العلب المزودة بقاعدة (pedestal boxes): تتوفر هذه العلب بتصاميم قياسية وغير قياسية، تستخدم الأولى مع كل من أنظمة undercarpet والأنظمة العادية. أما التصاميم غير القياسية فتستخدم مع الكبلات المستوية.

صواني الكبل

تصنع صواني الكبل التقليدية من المعدن، غير أن استعمال البلاستيك بدأ يتزايد في هذا المجال بسبب نوعيته غير القابلة للتآكل. الشكل (22.9). يتم توصيف الصواني بكلا نوعيها المعدنية أو البلاستيكية عن طريق الثقوب المتواجدة في قاعدتها وأحياناً في جوانبها. وهي تستخدم لمسك الكبلات في موضعها. لا تمتلك بعض المنتجات البلاستيكية ثقوباً وهي تشبه الأقنية التي لا تحوي أدلة. يعتمد ارتفاع العناصر الجانبية الطولانية على عرض ومقاومة الصينية، وهناك عدد من الطرق المختلفة المعتمدة من أجل ربط المقاطع مع بعضها البعض.



الشكل (22.8) الأنظمة الدليلية أثناء تركيبها على الأرضية



الشكل (22.9) صواني كبلات PVC

تتخذ الثقوب الموجودة في القاعدة عادةً شكل حزوز أو شقوق مستطيلة، ومع ذلك يمكن في بعض الأحيان أن تتضمن الأرضية بعض الثقوب الدائرية. يبدأ العرض الشائع من 50 mm و 75 mm ويتراوح العمق الجانبي من 24 mm حتى 100 mm أما الأطوال القياسية فلها القيم التالية: 2.44 m، 3 m، 4 m.

سلالم الكبلات

باعتبار أنه يتم استخدام سلالم وصواني الكبلات لحمل كتل كبيرة وثقيلة من هذه الكبلات على امتداد مسافات طويلة ومتباعدة، يجب التعامل معها كمنظومات الدعم الإنشائية. أكثر من نظم أقنية الكبلات التي ذكرناها سابقاً، نجد تطبيقات نظم الكبلات هذه في مراكز الطاقة (power stations) والمؤسسات المشابهة لها حيث تتواجد كتلة كبيرة من الكبلات الممتدة على مسافات طويلة.

تصنع السلالم عادةً من الصفائح الفولاذية المغلفنة مسبقاً للأوساط الجافة، واللاحقة الغلفنة للأوساط المعرضة لإمكانية التآكل. تعرف الغلفنة اللاحقة عادةً بعملية الغلفنة بالغمس الساخن (hot-dip) على الرغم من وجود طرق حماية أخرى ضد التآكل، الشكل (22.10). تعتبر مواد الفولاذ غير القابل للصدأ وخلائط الألمنيوم المبثوق من المواد البديلة في صناعة السلالم. وهناك أيضاً اهتمام متزايد بالتصاميم البلاستيكية.

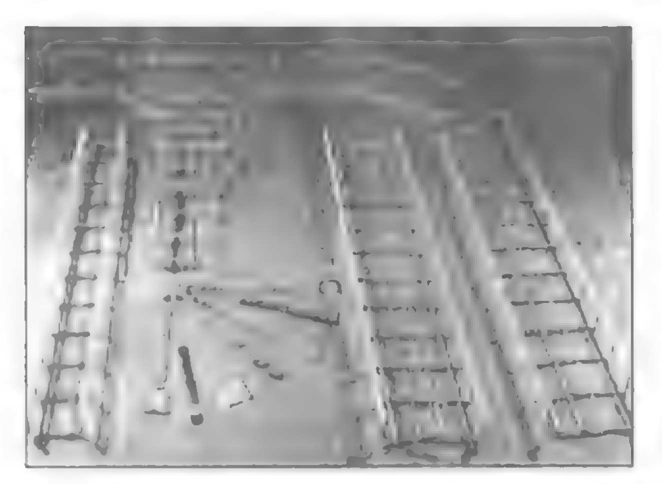


الشكل (22.10) سلالم كبلات مغلفنة

هناك تنوع كبير في تصميم كلا جانبي درجات السلالم، يدعي المصنعون الإيجابيات لمنتجاتهم الخاصة. تحتوي جوانب السلم على تخريمات بينما تحتوي بعض الأدراج على بعض الثقوب. تدل الأدراج المستوية، البيضوية، ذات المقطع T على التنوع الكبير المتوفر في الأسواق، يتغير الحيز بين الدرجات أيضاً ولكن الخيار الأكثر شيوعاً هو 300 mm.

نظام صينية الأسلاك

لا ينتمي هذا النظام إلى نوع السلم (ladder) أو الصينية (tray) على الرغم من أنه يؤدي وظيفة كل منهما إلى حد ما. تنتج هذه الصينية من سلك فولاذي ذي مقاومة ميكانيكية عالية لتشكيل بنية شبكية ملحومة ذات جوانب للمحافظة على الكبلات ضمنها، وهي لهذا السبب أخف وزناً من النسخ المناظرة.

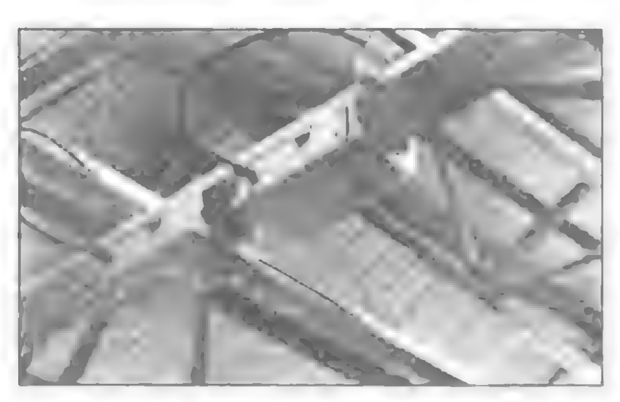


الشكل (22.11) شبكة صواني التسليك

شبكة أقنية قضبان التوصيل

تتعلق هذه الفقرة بأنظمة أقنية قضبان التوصيل 400 V، والتي تركب عادةً في الأعلى، وتزود بوحدات إغلاق لتغذية الأجهزة على الأرض في الأسفل (انظر

الشكل 22.12)، ويجب أن تتوافق مع الجزء الأول والثاني من المواصفة BS EN 60439 وبشكل خاص الجزء الثاني.



الشكل (22.12) أنظمة قضبان التوصيل

تشتمل المكونات الرئيسية لشبكة أقنية القضبان الناقلة على مجموعة من القضبان الناقلة النحاسية أو من الألمنيوم وتستكمل مع دواعم وعوازل، يتم تجميعها في المصنع عبر أقنية صفائح فولاذية أو عزل. المجال المقدر لها من 25 A حتى 5000 A أو أكبر. تزود وحدات الأقنية بمقاطع مستوية وهي مخصصة عادةً لشبكات ثلاثية الطور بالرغم من وجود بعض الأنظمة أحادية الطور للحد الأدنى لهذا المجال.

تخصص تصاميم لخمسة قضبان ناقلة منها ثلاثة للأطوار مع خط حيادي وخط آخر للحماية. تتوفر التغذية المركزية والنهائية بشكل خاص مع السعات العالية. وتكون الوصلات الجيدة بين المقاطع المتجاورة أساسية عندما يكون من المطلوب تجنب البقع الساخنة.

يمكن وصل وحدات الإغلاق إلى القضبان الناقلة بسهولة ويمكن أن تتبدل ببساطة إذا دعت الحاجة. وقد تكون معزولة كلياً أو بتصميم معدني مغلق يمكنه أن يتصل أو ينفصل بشكل آمن مباشرةً على القضبان الناقلة.

بالنسبة للقضبان الناقلة الأعلى من 800 A تصنع وحدات الإغلاق بمعدلات من 40 A حتى 1000 A ويمكن أن تكون غير قابلة للوصل المباشر.

الأنظمة الخاصة

يجب على المرء أن يعير بعض الانتباه لنظم إدارة الكبلات تلك التي لا تنتمي إلى الفئة العادية، ولكنها غير قادرة على وصفهم بشكل كامل. يمكن استخدام الكبل المعدني المعزول عن طريق استعمال الشبكة القطرية وعلب التوصيل. هناك نظام قياسي أمريكي معتمد أثناء وضع الكبلات ضمن شبكة الأقنية الخاصة يمكن تكييفه مع أنظمة الصوت والمعلومات والصورة عن طريق استخدام العلب المركبة على السطح، أو الألواح الجدارية والوصلات العيارية التي تصدر أصواتاً على الأقنية عند الحاجة.

تستخدم أنظمة استدعاء الممرضات الأقنية عند رؤوس أسرة المشافي وذلك لتضم التسهيلات الكهربائية كالراديو والتلفزيون وتوزيع الصوت ومقابس الطاقة ومنافذها ومآخذ الحواسب والاتصالات.

هناك غلاف كبل بسحاب وعزل مثالي لحماية الكبل الذي يقوم بتغذية المحركات ومسننات التحكم ولوحة مفاتيح القيادة الكهربائية.

يمكّن أثاث المكتب المزود بالأسلاك المرء من جعل الخدمات أقرب ما يمكن من نقاط الاستعمال وتتوزع مع أي كبلات جر على الأرضيات. تصنع الحوامل والتجميعات المزودة بالأسلاك مسبقاً من أجل تطبيقات محددة ويمكن أن تكون اقتصادية حين تدعو الحاجة إلى أنظمة عديدة متطابقة.

23

المناطق الخطرة للعمل الكهربائي

في المناطق التي قد يتواجد فيها مزيج قابل للانفجار مكون من الغاز والهواء، تشكل كلاً من الأجهزة الكهربائية التي تصدر الشرار أثناء عملها أو في حال حدوث عطل ما، والأجهزة ذات السطوح الساخنة مصدر خطورة كامن. يمكن أن تكون عاقبة الانفجار في مثل هذه المناطق مروعة، كالكوارث التي وقعت في المنصة Alpha في Piper أو في Flixborough قبل تجريبها.

في الصناعة الكيميائية، وصناعة التعدين، والعديد من الفروع الصناعية الأخرى، وحتى في الحياة اليومية، يمكن أن تشكل المواد القابلة للانفجار ضغوطاً جوية انفجارية وهي مواد قابلة للتصنيع والتخزين والمعالجة عبر عمليات متتالية، قد تؤدي تحت ظروف معينة إلى إحداث انفجار. تم تطوير مفهوم الحماية من الانفجار للأجهزة الكهربائية وقد تمت صياغته لمنع وقوع الحوادث في المناطق الخطرة أثناء عمل الأجهزة الكهربائية الاعتيادي.

تاريخياً، كان الحافز الرئيسي لتطوير تجهيزات أو معدات خاصة، إجرائيات، معايير، ولافتات لبيئات العمل الخطرة بشكل بارز، نتاج تطور صناعة الفحم الحجري على نطاق واسع في بريطانيا وفي بقية أنحاء العالم الذي تزامن مع ثورة الطاقة البخارية.

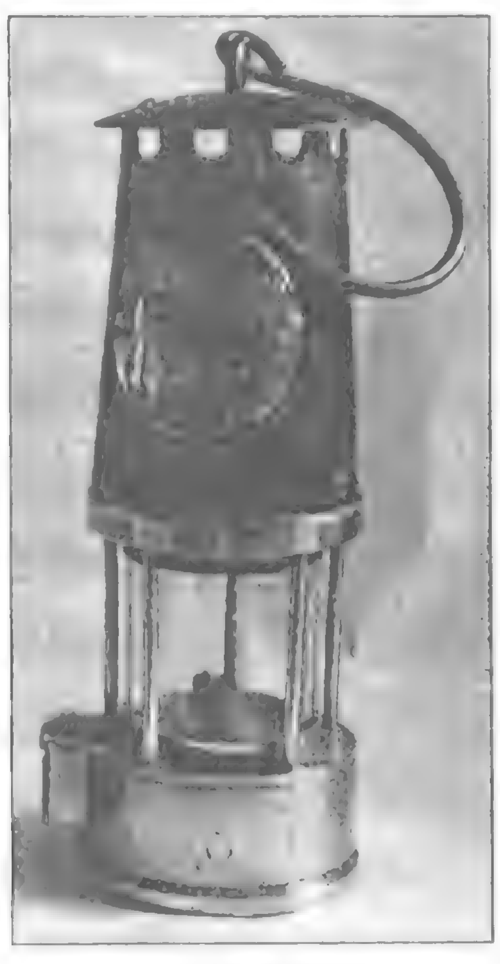
يعد مصباح المناجم الآمن Davy المبين في الشكل (23.1) أحد أمثلة المعدات التي صممت خصيصاً لاستخدامها في المناطق الخطرة، وقد وقعت في السنوات الأولى من القرن الثامن عشر منافسات تجارية لتصميم معدات كهربائية آمنة للمناجم.

يعود تاريخ التفكير بمفهوم "الأمان الذاتي" (intrinsic safety) إلى وقوع حادثة منجم في South Wales في سنة 1913، حيث أدى انفجار قد يكون نجم عن اشتعال الميتان من شرارة إلى قتل 439 شخصاً. وقد تولدت هذه الشرارة عندما لامست مجرفة أحد العمال قضيب السلكين اللذين يشكلا نظام الإشارة لاستدعاء رافعة نقل عربات المنجم. الشكل (23.2).

ما زالت مفاهيم تراث صناعة التعدين تشكل الإلهام الأكبر لتطوير المعدات الكهربائية للمناطق الخطرة والحماية حتى الآن. تحكم صناعة الفحم الحجري في بريطانيا نظم حماية مختلفة قليلاً عن تلك المطبقة في المناطق الخطرة، ولكن المناطق الخطرة موجودة أيضاً في أماكن أخرى، على سبيل المثال: منشآت النفط والغاز القادم من البحار والمنشآت البتروكيميائية في جوار الشواطئ، ومن المسلم به بأن أي مهندس كهربائي سيحتاج في مرحلة ما من عمله إلى معرفة بعض التفاصيل عن موضوع الحماية من الانفجار.

إن عملية ضم المجموعات الوفيرة من المعايير القياسية واللافتات التي تغطي عمليات تصنيع واختبار وتركيب وصيانة الأجهزة والمعدات الكهربائية في المناطق ذات الخطر الكامن، إلى المعايير القياسية واللافتات المتداولة حول العالم، زادت من تعقيد وخصوصية الموضوع في بعض الأحيان. ومن المستحيل لفصل واحد من كتاب كهذا أن يقدم أكثر من لمحة موجزة عن هذا الموضوع ويشير إلى أمكنة تواجد المعلومات الكاملة والتفصيلية. يجب أن يكون واضحاً أيضاً بأن المعلومات التي يتضمنها هذا الفصل لا يقصد بها الحلول محل المعايير القياسية العامة المنشورة واللافتات المعمول بها أو أي منشورات ذات صلة بالموضوع.

النظرة المنتشرة عالمياً مهمة بسبب التزايد العالمي الطبيعي بتصميم وصناعة وبناء الأنظمة الكهربائية. على سبيل المثال، أراد خبراء التكنولوجيا البريطانيون في مجال صناعة النفط والغاز القادم من المحطات البحرية أن يعملوا لصالح المصممين والعاملين البريطانيين في مجال تصميم نظم التحكم المشابهة في بلاد ما وراء البحار. لكن هذه النظم يجب أن تكون مناسبة للعمل في البلد الذي سيتم تركيبها وتشغيلها فيه.

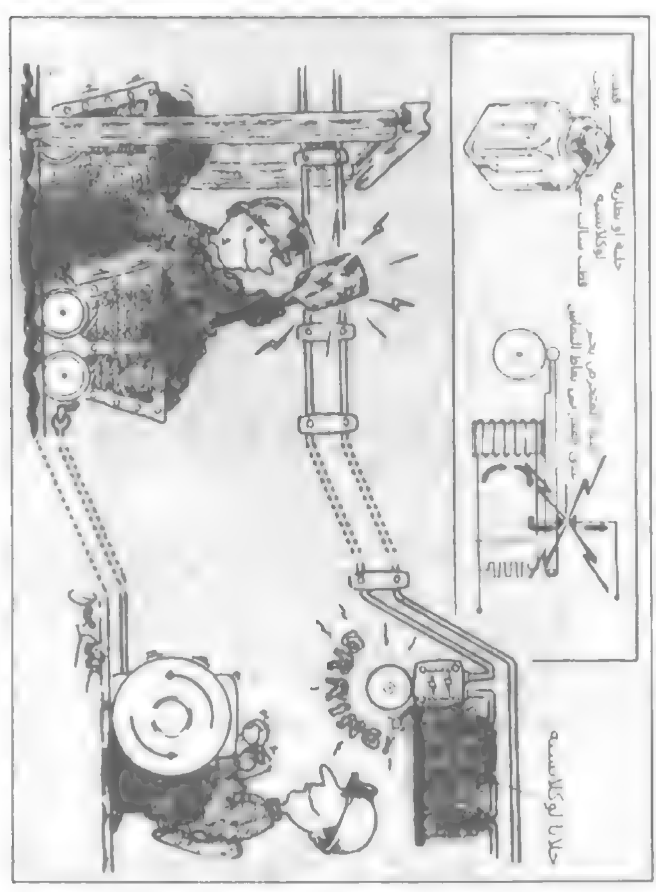


الشكل (23.1) مصباح المناجم الأمن Davy

هذه المبادرات الساعية لإيجاد أرضية مشتركة على نطاق عالمي لحماية التجهيزات والمعدات الكهربائية من الانفجارات، والشهادات المصدقة ذات الصلة بمعايير IEC (لجنة التقنيات الكهربائية العالمية)، وبصرف النظر عن بلد المنشأ، أثمرت عن انطلاق

نظام عرف باسم IECEx. يجب على البلدان الأعضاء في IEC تعديل معاييرهم القياسية للمناطق الخطرة وإجرائيات الاختبار للاستجابة لمتطلبات IECEx.

بالتالي فإن الهدف هو قبول المنتجات التي تحمل شهادة Ex لأي بلدٍ عضوٍ في IEC بغض النظر عن بلد المنشأ أو المصنع أو هيئة الاختبار.



الشكل (23.2) تحريض دارة الجرس الكهربائي تؤدي إلى إصدار الشرار لدى حدوث انقطاع في الدارة

بالاشتراك مع عدد من مناطق التجارة، تم اتخاذ خطوات باتجاه توحيد المعايير القياسية في أرجاء الاتحاد الأوربي، وما زالت هذه الخطى مستمرة، وتتضمن توجهات ATEX التي توفق بين المتطلبات التقنية للتجارة الحرة ضمن الاتحاد الأوربي.

توجيهات ATEX

تم اشتقاق الكلمة ATEX من العبارة الفرنسية ATmosphere Explosibiles أي "بيئة قابلة للانفجار". هناك توجيهان لـ ATEX يتعلقان باستخدام المعدات الكهربائية في البيئات (الأوساط) القابلة للانفجار، وهما التوجيه 94/9 المتعلق بحماية المعدات الكهربائية من الانفجار (وكذلك المعدات غير الكهربائية ذات الاشتعال المحتمل)، كصناعة وشهادة. بينما يتعلق التوجيه 99/92 بمكان العمل وسلامة العاملين.

إن الامتثال للتوجيه 94/9 يساعد على تسهيل حركة التجهيزات والأنظمة في كل أرجاء الاتحاد الأوربي عن طريق التوفيق بين المتطلبات التقنية والقانونية للمنتجات التي نود استخدامها في أجواء معرضة لانفجار الغازات أو الجزيئات.

يمكن الإشارة إلى التجهيزات والمعدات التي تخضع لهذا التوجيه بلوحة إعلانية تعلق عليها وتحمل العلامة المميزة CE (الشكل 23.3)



الشكل (23.3) إشارات الامتثال لـ ATEX المثالية

تصنف المعدات ضمن مجموعات، فالمجموعة I لصناعة التعدين، والمجموعة II لكافة الصناعات الأخرى. وهناك أيضاً فئتان من المعدات لتطبيقات صناعة التعدين هما M1 و M2 وذلك حسب درجة خطورة محيط العمل. أما المجموعة II فتضم ثلاث فئات يمكن توصيفها بشكل خشن بالفئة 1 للمنطقة 0، والفئة 2 للمنطقة 1، والفئة 3 للمنطقة 2. (يمكن بوضوح استخدام الفئتين 1 و 2 في مناطق الفئة 3).

اعتبر هذا التوجيه إلزامياً بشكل قانوني منذ شهر حزيران من سنة 2003. يجب أن تخضع له جميع معدات Ex والأنظمة المعروضة للبيع في أسواق الاتحاد الأوربي.

تم تعديل المواصفات القياسية CENELEC EN بحيث تشتمل على متطلبات الصحة والسلامة التي يضمها هذا التوجيه.

يطبق هذا التوجيه في المملكة المتحدة من قبل لجنة الصحة والسلامة وينفذ بشكل قانوني عن طريق المرسوم التشريعي 192 "أنظمة المعدات ومنظومات الحماية المعدة للاستخدام في الأجواء الانفجارية".

يعالج التوجيه 99/92 متطلبات السلامة العامة وتقديرات الأخطاء على صحة وسلامة العاملين. في هذا السياق، يجب على رب العمل أن:

- يؤمن الحماية ضد الانفجار
- يقيّم مخاطر الانفجار
- يضمن بأن العمل يمكن إنجازه بأمان
- يصنف مناطق العمل ويميز الأماكن التي يحتمل وقوع انفجار فيها
- يعمل على كتابة وثيقة للحماية من الانفجار
- يؤمن التدريب الملائم والكافي للعاملين

أما المتطلبات الكهربائية فهي إعطاء العلامة CE للتجهيزات، تصنيف المنطقة، تجميع الغاز، التصنيف T، شهادات المطابقة للمجموعة والفئات، وتوافق عمليات التركيب والصيانة مع التوجيه.

يجب على أماكن العمل التي استخدمت للمرة الأولى بعد حزيران 2003 أن تتلاءم مع التعليمات المتعلقة بهذا التوجيه. أما أماكن العمل الموجودة والمستخدمة قبل حزيران 2003 فيجب أن تتلاءم مع هذه المتطلبات خلال فترة أقصاها حزيران 2006.

أما بالنسبة للمنشآت الموجودة والتي يتم تعديلها بعد حزيران 2003 فيجب أن تتلاءم هذه التعديلات مع متطلبات هذا التوجيه.

يقدم هذا الفصل معلومات عن تعاريف الأماكن الخطرة، ومفاهيم تصميم تجهيزات الحماية من الانفجار وكذلك المعايير القياسية التي تحكم عمليات التصنيع ومنح الشهادات للتجهيزات الكهربائية المصممة للاستخدام في الأماكن الخطرة والتي ستساعد مهندس الكهرباء على اختيار وتركيب واستخدام مثل هذه الأجهزة. بالإضافة إلى المعلومات المقدمة عن خبرات العمل في الأماكن العامة والخاصة.

الأماكن الخطرة

المطلب الأول هو معرفة الأماكن الخطرة. إن العوامل الأساسية المتعلقة بتصنيف الأماكن الخطرة هي طبيعة الغازات أو الجزيئات المتواجدة في الأجواء القابلة للانفجار وكذلك أرجحية تواجد هذه الأجواء.

تم تطوير مفهوم "تصنيف المناطق" (zone classification) ليقوم بتلخيص هذه العوامل. يتم تحديد مواصفات طبيعة الجو عن طريق التركيب الكيميائي للغاز أو الجزيئات وأيضاً عن طريق درجة حرارة اشتعاله التلقائية. وقد تم تطوير المصطلح "مجموعة الغاز" (gas grouping) و"تصنيف الحرارة" (temperature classification) لصياغة ذلك.

قبل الخوض بالتفصيل في هذه التعاريف، من المفيد التعرف على كيفية وقوع الانفجار. المفهوم المفيد في هذا المجال هو "المثلث الخطر" (hazard triangle) الشكل (23.4). تظهر الجوانب الثلاثة للمثلث: الوقود، الأكسجين، ومصدر الاشتعال. وجميعها مطلوبة لحدوث الانفجار. الوقود المفترض في هذا الفصل هو الغاز القابل للاشتعال، يمكن للبخار والسائل مع الجزيئات أن يكون وقود كامن. يتواجد

الأكسجين في الهواء بتركيز 21% تقريباً. أما مصدر الاشتعـــال فيمكن أن يكون شرارة أو درجة حرارة عالية.



الشكل (23.4) المثلث الخطر

عندما يكون الجو القابل للاشتعال المحتمل بين حدي قابلية الاشتعال العلوي والسفلي لمادة خاصة ويتم إدخال مصدر إشعال فإن هذه المادة ستنفجر أو تحترق. من الجلي بأنه في حال غياب أي جانب من جوانب المثلث الخطر فإن الانفجار لن يحدث. ذلك يقود إلى أن المكان الخطر قد يحتوي على الوقود والأكسجين، وبالتالي يكون المبدأ الأساسي لمنع الانفجار هو في ضمان التخلص من أي مصدر إشعال أو عدم تأمين أي تماس بينه وبين مزيج الوقود والأكسجين. إذا كان هناك أي احتمال لإغناء الأكسجين أي تكون نسبته أعلى من 20% بالحجم، هناك بالتالي اعتبارات خاصة لضمان الأمان.

تصنيف المناطق: يوضح الجدول (23.1) تصنيف المناطق IEC 79-10 المعمول به في أوربا وفي معظم أرجاء العالم الأخرى. أهملت المواصفات القياسية البريطانية BS 5345 القسم 2 واستبدلت بالمواصفة BS/EN/IEC 60079-10. يشير الجدول كذلك إلى الأنواع المناسبة من الحماية ضد الانفجارات في كل منطقة.

يتبنى النظام الأمريكي لتصنيف الأماكن الخطرة طريقة مختلفة، تعتمد على الترميز الكهربائي الوطني، باختصار يتم تصنيف المواقع الخطرة كمثل الصنف I "القسم 1"، حيث يمكن أن تتواجد الغازات أو الأبخرة القابلة للاشتعال بتركيز قابل للاشتعال، وذلك أثناء العمل الاعتيادي، أو "القسم 2" حيث تصبح الأبخرة أو الغازات سريعة

اللهب في تركيز قابل للاشتعال فقط بسبب حوادث أو أعطال في منظومة التهوية.

تتعلق الأصناف II و III والأقسام I و 2 بالجزيئات والألياف القابلة للاحتراق. في نسخة عام 1999 من الترميز الكهربائي الوطني (NEC) في الولايات المتحدة الأمريكية. عُرض، وللمرة الأولى، مفهوم تصنيف المنطقة بشكل مغاير لتعاريف الأصناف والأقسام للمواقع الخطرة، على سبيل المثال، الصنف I المناطق 2، 1، 0 من أجل الغازات والأبخرة.

الجدول (23.1) التصنيف IEC 79 لمناطق الأماكن الخطرة

	الحماية الملائمة
المنطقة 0	
الأماكن التي يتواجد فيها خطر انفجار غازات الجو بشكل دائم لمدة طويلة، على سبيل المثال في الأنابيب أوالحاويات	Ex 'ia' Ex 's' (حيث تعتمد المنطقة 0 بشكل خاص)
المنطقة 1	
الأماكن التي يتواجد فيها خطر انفجار غازات الجو أحياناً، على سبيل المثال الأماكن القريبة من الأنابيب أومحطات التصريف	Ex 'd' ; Ex 'ib'; Ex 'p' ; Ex 'e'; Ex 's' ; Ex 'o'; Ex 'q' ; Ex 'm'; التجهيزات مناسبة للمنطقة 0
المنطقة 2	
الأماكن التي يندر فيها خطر انفجار غازات الجو أو تلك المتواجدة لفترة قصيرة، على سبيل المثال المناطق القريبة من المنطقة 1 و 0	Ex 'N' / Ex 'n'; التجهيزات مناسبة للمنطقة 0 و 1

في المملكة المتحدة، قرر Factories Act بأنه أينما أمكن تواجد خطر الجزيئات سريعة اللهب، فإنه يطلب الحماية من الانفجار وقياسات للتقليل من مخاطر الاشتعال، وكذلك فإن ذلك غير معالج في هذا الفصل.

تتطلب توجيهات ATEX القانونية أخذ أخطار الجزيئات بعين الاعتبار وأن تصنف كمثل المنطقة 20 أو 21 أو 22.

تصنيف درجة الحرارة ومجموعة الغاز: تحتاج الغازات المختلفة إلى كميات من الطاقة (عن طريق السطوح الساخنة أو الشرارة) اللازمة لإشعالها ويستخدم كلا المفهومين مجموعة الغاز وتصنيف درجة الحرارة في أوربا لتصنيف الأجهزة الكهربائية اعتماداً على مدى ملاءمتها للاستخدام في أجواء انفجارية من الغازات الخاصة.

يقوم الجدول (23.2) بإدراج الغازات الصناعية الشائعة ضمن مجموعات الغاز المناسبة. المجموعة I مخصصة للتجهيزات والمعدات المناسبة للاستخدام في مناجم الفحم، وسوف تتم تغطية تفاصيل الاختلاف بين المعدات والتجهيزات المعتمدة للاستخدام في المناجم لاحقاً. المجموعة II والتي تضم غازات يمكن أن تتواجد في تطبيقات صناعية أخرى، مقسمة جزئياً إلى IIA و IIB و IIC وذلك اعتماداً على سرعة لهبها النسبية لمعظم أنواع المزيج المتفجر والمكون من الغاز والهواء.

يقوم الجدول (23.3) بتعريف كل صنف من أصناف الحرارة اعتماداً على القيمة العظمى من مساحة الجهاز والمسموح بتعريضها للجو المحيط، ويشير إلى الغازات الشائعة التي يناسبها هذا التصنيف.

الجدول (23.2) مجموعة الغاز CENELEC/IEC

المجموعة		الغازات المحتملة
I	(التعدين، المناجم)	الميتان
IIA	الصناعات السطحية	الأسيتون، الإيتان، أسيتات الإيثيل، النشادر، البنزول، حمض الخل، أول أوكسيد الكربون، الميتانول، البروبان، التوليووين، الكحول الإيتيلي، أسيتات الإميل-I، الهكسين-N، البوتان-N، الكحول البيوتيلي-N، البنزين، المازوت، وقود الطائرات، زيوت التسخين، الديهيد خلي، إيتيل الأتير
IIB		غاز الاستصباح، الإيتيلين (الإيثين)
IIC		الهيدروجين، الأسيتيلين (الإيتيلين)، ثنائي كبريتور الهيدروجين

تحدد الخبرات في أمريكا الشمالية المواد الخطرة في أصناف. الغازات والأبخرة سريعة اللهب والأبخرة هي عبارة عن مواد من الصنف 1، الجزيئات القابلة للاحتراق مواد من الصنف 2، المواد الطيارة (كالنشادر على سبيل المثال) هي مواد من الصنف 3، يقسم الصنف 1 إلى أربع مجموعات جزئية معتمدة على قابلية اللهب: A (مثل الأستيلين)، B (مثل الهيدروجين)، و D (مثل البروبان والميتان). لاحظ بأنه لدى مقارنة ذلك مع مجموعات الغاز IEC فإن أحرف المجموعات الجزئية هي في ترتيب معاكس لقابلية اللهب.

يتشابه تصنيف أمريكا الشمالية لدرجات الحرارة مع المواصفات والمعايير القياسية لـــ IEC، غير أن التقسيمات الجزئية الإضافية تتيح مزيداً من المعلومات عن درجة الحرارة.

الجدول (23.3) تصنيف درجة الحرارة وفق CENELEC/IEC

الصنف	درجة الحرارة العظمى المسموح بها للسطح (°C)	الغازات الممثلة
T1	450	الأسيتون، الإيتان، أسيتات الإيتيل، النشادر، البنزول، حمض الخل، أول أوكسيد الكربون، الميتانول، البروبان، التوليووين، غاز الاستصباح، الهيدروجين.
T2	300	الكحول الإيتيلي، أسيتات الأميل، الهكسان-N، البوتان-N، الكحول الإيتيلي-N، الإيتيلين.
T3	200	البنزين، المازوت، وقود الطائرات، زيوت التسخين.
T4	135	ألديهيد خلي، إيتيل الأتير.
T5	100	
T6	85	ثنائي كربتور الكربون

المواصفات والرموز القياسية المستخدمة في بريطانيا وأوربا

المواصفات القياسية (Standards): في العديد من المجالات الصناعية، تتواجد المعايير (EN) الأوربية CENELEC جنباً إلى جنب مع المواصفات القياسية البريطانية

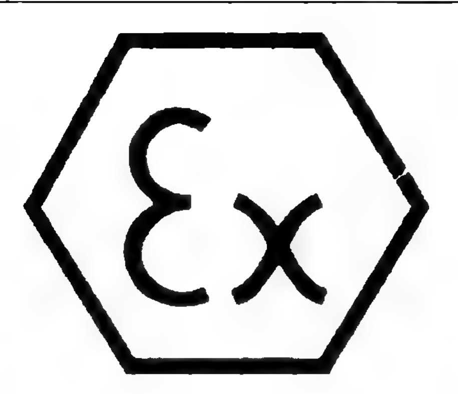
المماثلة (BS). أصل هذه المعايير هو التوجيهات الأوربية التي تهتم بالتجهيزات المستخدمة في الأجواء القابلة للانفجار والمنشورة في سنة 1975 و 1979. وهناك توجيهات منفصلة تتعلق بالمناجم نشرت في عام 1982. أثمرت الخطوات الهادفة لإزالة العقبات من وجه التجارة الحرة في أوربا عن نشر المعايير الأوربية (EN) CENELEC والتي شكلت مواصفات قياسية متوافقة. تغطي التوجيهات الأوربية الجديدة ATEX، والتي أصبحت سارية المفعول في عام 1996، إجرائيات تقييم التوافق (المطابقة) أو الانسجام لمثل هذه المعدات الكهربائية والميكانيكية، لتصميم الحماية والمكونات. أصبحت توجيهات ATEX نافذة بشكل قانوني اعتباراً من حزيران 2003.

مثله مثل جميع المعايير، فقد خضع المعيار الأوربي المتعلق بالأماكن الخطرة إلى المراجعة والتنقيح بشكل متواصل، وكذلك إلى التحديث حالياً وتم إعادة إصداره وتوزيعه في نسخته الثانية التي تضم متطلبات الصحة الأساسية والسلامة لتوجيهات ATEX.

من المهم أن يكون مهندس الكهرباء حذراً تجاه المعايير القياسية للمعيار الأوربي لتصنيع معدات الحماية من الانفجار (EN 50014 وغيره) ومكافئاته في الطبعات الأخيرة لأنها تحدد أنواع التجهيزات المتوفرة للاستخدام، وتمس بشكل وثيق إجرائية التركيب. هناك معايير قياسية أخرى تغطي المواصفات الخاصة بالكابلات كما سنرى لاحقاً.

المعدات المعتمدة على أنها مطابقة للمواصفات EN تحمل العلامة المميزة المبينة في الشكل (23.5).

الرموز المتداولة (codes of practice): تختلف الأنظمة والتوجهات المتعلقة بصيانة المعدات الكهربائية في الأماكن الخطرة من بلد لآخر بسبب الاختلافات التاريخية في في الخبرة المتعلقة بعمليات التركيب. من الأساسي، طبعاً، أن تؤخذ بالحسبان، أنظمة الأسلاك الوطنية أو الرموز العامة المتداولة للتركيبات الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، في المملكة المتحدة، تغطي المواصفة البريطانية BS 5345 عمليات اختيار وتركيب وصيانة المعدات المستخدمة في الأجواء ذات القابلية للانفجار، بالرغم من كونها غير قابلة للتطبيق في المناجم (التعدين).



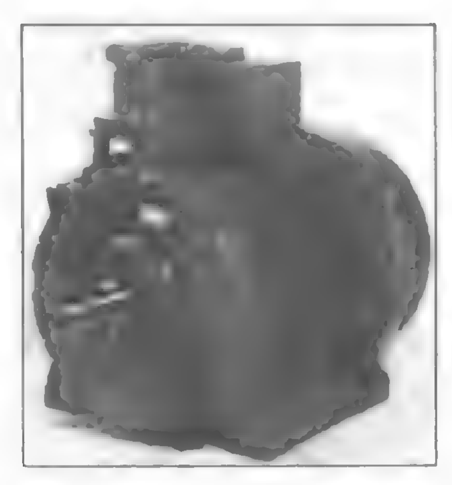
السكل (23.5) علامة EN للإلىرام بحماية الأجهزة صد الانفجار

للمواصفة البريطانية BS 5345 تسعة أجزاء، بعضها تم أخذه بعين الاعتبار سابقاً (مثل الجزء الثاني، والذي يغطي تصنيف المنطقة). وقد أبطل استعمال هذه المجموعة من المواصفات القياسية الآن (باستثناء الجزء الثاني)، ولكن يجب الاحتفاظ بها كمرجع للتركيبات المتواجدة مسبقاً. المعيار الجديد لاختبار وتركيب المعدات الكهربائية في الأجواء الانفجارية هو BS/EN/IEC 60079-14.

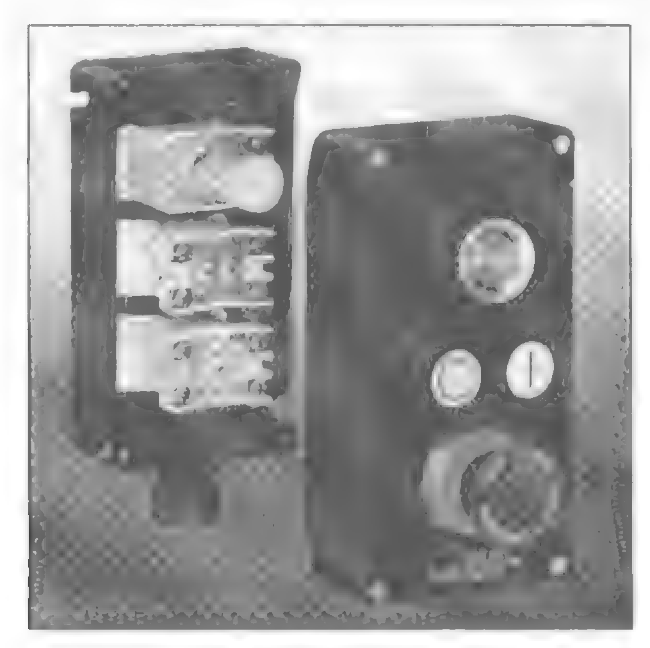
إجراءات تقييم المنطقة (area assessment procedure): على الشركات التي تستخدم المواد القابلة للاشتعال أن تجري تقييماً للمنطقة المستخدمة وذلك بموجب الجزء الثاني من BS5345 (تصنيف المنطقة)، أو BS/EN/IEC 60079-10. وهناك أيضاً ترميزات أخرى ذات صلة كتلك المتعلقة بالصناعات البترولية أو الكيميائية. في الحالة العامة، ستسفر إجرائية التقييم هذه عن تقرير مكتوب يعرّف ويسرد لائحة بالمواد القابلة للاشتعال المستخدمة، ويسجل كافة الأخطار المحتملة ومصادرها وأنواعها، يعرف حدود المنطقة عن طريق أخذ عوامل مختلفة مثل نمط الإطلاق المحتمل للمواد القابلة للاشتعال، والتهوية، وما إلى ذلك. وكذلك يتضمن بيانات أخرى ذات صلة، بسبب تعقيد إجرائية تقييم المنطقة، تعرض العديد من الشركات المختلفة والمتخصصة والمنظمات خدماتها في تقييم المناطق الخطرة على الصعيد التجاري.

المعدات الكهربائية

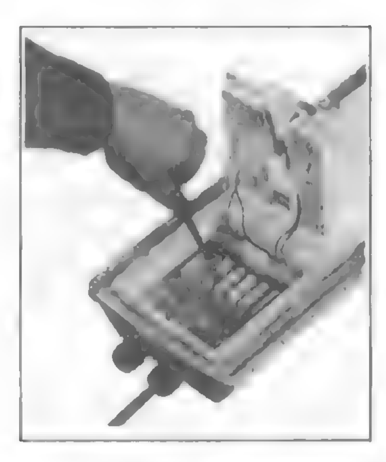
تكون عملية التصنيع والعمليات الأخرى ضمن المناطق الخطرة المختارة مماثلة لتلك في المناطق عديمة الخطورة، وبالتالي هناك حاجة للطاقة الكهربائية من أجل المحركات، الإضاءة، التحكم واستخدام الالات. من غير المفاجئ أنه في حال إنجاز بناء الأنظمة الكهربائية وخضوعها لمعايير ومواصفات Ex، فإن تصرف أو سلوك كافة المعدات الكهربائية، من المحركات الشكل (23.6) ومحطات التحكم الشكل (23.7)، مروراً بالمصدرات الصوتية الشكل (23.8) ومجموعة المفاتيح الكهربائية للقوابس والمقابس الشكل (23.9) وحتى المصابيح البدوية ومصابيح الجيب، يمكن العثور عليه في نسخة معتمدة لـــ Ex من المصنعين المختصين.



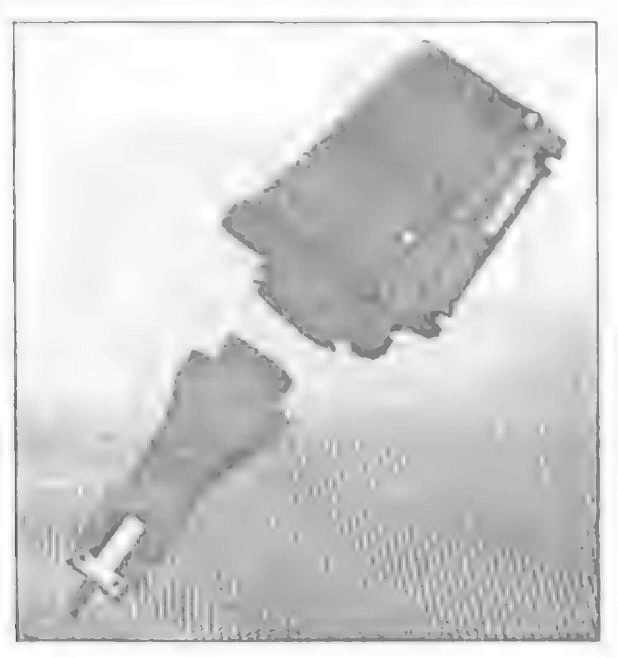
الشكل (23.6) نوع محرك مضاد للهب EEx'd'



الشكل (23.7)   محطة تحكم مضادة للانفجار 'EEX 'ed



الشكل (23.8)   أسلاك المصدرات الضوئية 'EEx 'ed



الشكل (23.9) مجموعة مفاتيح كهربائية مآخذ ومقابس معدة للمناطق الخطره 'EEX 'de

يجب على المعدات المصممة والمصنعة والمعروضة للبيع في الاتحاد الأوربي لاستخدامها في المناطق الخطرة أن تتطابق مع توجيهات ATEX، وأن تحمل لائحة مصدقة تقدم معلومات عن ملاءمة المنتج للغرض المقصود استخدامه، بالإضافة إلى علامة مصادقة السلطة. كمثال، سنعتبر أن العلامات المعروضة على أنبوب مزدوج 'EEx'ed هي لوحدة مصدر ضوئي فلوريسانت، مصدقة لتوافق المعايير الأوربية، وهذا مبين في الشكل (23.10). البعض من هذه العلامات تشرح ذاتها بذاتها (على سبيل المثال اسم المصنع)، وبعضها الآخر تم تغطيته سابقاً في هذا الفصل (مجموعة الغاز وتصنيف درجة الحرارة). ستشرح هذه الفقرة العلامات الأخرى، وستقدم معلومات إضافية حول كيفية القيام بتصميم وتصديق المعدات الكهربائية للاستخدام في المناطق الخطرة.

CEAG eLLK 92036/36

CEAG Sicherheitstechnik GmbH, Senator-Schwartz-Ring 26, 59494 Soest

S. Nr.: D123456 2000 Ex II 2 G CE 0102

PTB 96 ATEX 2144	110-254 V 50-60 Hz
EEx ed IIC T4	110-230 V DC
Lampe: G13-B1-IEC-1305-2	Ta ≤ 50 °C

الشكل (23.10a) لافتة المصدرات الضوئية من النوع 'Eex 'ed - فلوريسانت

1. اسم المصنّع
2. رمز نوع المنتج
3. عنوان المصنّع
4. سنة التصنيع
5. شعار الملكية للمعدات المحمية من الانفجار
6. شعار المعدات بناءً على توجيهات ATEX 94/9 للاستخدام في المناطق الخطرة. أي المجموعة II المنطقة 1 (أو 2) غازات الجو
7. الشعار EC الذي يؤكد على المطابقة مع توجيهات ATEX. يشير الرقم الذي يلي الشعار EC إلى هوية الجسم المعلن منه
8. رقم شهادة هيئة الاختبار، لاحظ أن X تدل على شروط خاصة للاستخدام
9. إعطاء العلامة بناءً على معايير CENELEC EN: EEx (الحماية ضد التفجير)، ed (زيادة الأمان والصمود أمام اللهب)، IIC (مجموعة الغاز)، T4 (تصنيف درجة الحرارة)
10. الرقم التسلسلي
11. درجة حرارة الوسط المحيط

الشكل (23.10b) مفاتيح إعطاء العلامة للوسم أعلاه

ستحمل الأجهزة التي تم المصادقة على أنها مناسبة للعمل في مناجم الفحم البريطانية علامات مختلفة. ستكون علامة مجموعة الغاز هي I، وسوف لن يكون هناك صنف لدرجة الحرارة وذلك لأن علامة مجموعة الغاز I تحتوي فقط غاز خطير واحد وهو ذو درجة اشتعال عالية نسبياً، لذلك يعتبر تصنيف T غير مهم. تتكون علامة المطابقة من الأحرف MEx في الكلمة المميزة MECS. سيتم التعامل لاحقاً مع الفوارق الموجودة في عملية المصادقة لجهاز سيعمل في مجال صناعة المناجم.

أنواع الحماية (types of protection): استنادا إلى المواصفة EN 50014، يمكن تصميم الأجهزة الكهربائية المعدة للاستخدام في الأجواء الانفجارية وفق مفاهيم حماية متنوعة (الجدول 23.4). تكون الأجهزة محمية من الانفجار (أي، أنها لن تسبب انفجاراً أو تقوم بنقله للمحيط الجوي الخطر خلال العمل الطبيعي) إذا تمت مصادقتها من قبل هيئة اختبارية معترف بها إلى المعايير CENELEC EN. تكون المعدات مصممة على EEx إذا اعتمدت المعيار الأوربي CENELEC التوافقي القياسي وتم وضع العلامات عليها كما هو مبين في الشكل (23.5).

يجب على مهندس تصميم النظم الكهربائية القيام بعملية الاختيار بحيث يتم اعتماد طريقة الحماية التي ستستخدم للمنظومة ومن ثم تحديد الأجهزة والمكونات بناءً على ذلك. في التطبيق العملي، تصمم معظم المعدات الكهربائية المعدة للاستخدام في المناطق الخطرة بناءً على المفاهيم 'N/n', Ex'e', Ex'd' أو Ex'i' سيتم تقديم شرحاً مفصلاً للمفاهيم التصميمة المتعلقة بالحماية من الانفجار (والمسماة Ex) مع شرح موجز لمفاهيم التصميم المتعلقة بطرق الحماية الأخرى.

حماية حق الدخول (ingress protection): يتعلق مفهوم حماية حق الدخول (التصنيف IP) بتصميم المعدات الكهربائية المحمية ضد الانفجار (Ex) كمعايير لبعض أجهزة Ex التي تحتاج أيضاً لتصنيف IP مناسب مثل زيادة السلامة Ex'e'. تتضمن معظم أنواع اختبارات المصادقة اختبارات حماية أكثر صرامة لحق الدخول وستتضمن أيضاً اختباراً للصدم، عادةً بمقدار 7 Joule. الجدول (23.5) يعرف معدلات اختبار حق الدخول.

الجدول (23.4) أنواع الحماية والمعايير ذات الصلة

مفهوم الحماية	التسمية (المناسبة في أوربا)	المعايير القياسية ذات الصلة		
		المكافئات الأوربية	المكافئات القياسية البريطانية	المكافئات العالمية
المتطلبات العامة		EN 50014	BS 5501 Pt 1	IEC 79-0
تغطيس الزيت	EEx'o'	EN 50015	BS 5501 Pt 2	IEC 79-6
الانضغاط	EEx'p'	EN 50016	BS 5501 Pt 3	IEC 79-2
حقل الكوارتز-الرمل	EEx'q'	EN 50017	BS 5501 Pt 4	IEC 79-5
طوق مضاد للهب	EEx'd'	EN 50018	BS 5501 Pt 5	IEC 79-1
السلامة العالية	EEx'e'	EN 50019	BS 5501 Pt 6	IEC 79-7
السلامة الذاتية	EEx'i'	EN 50020 EN 50039	BS 5501 Pt 7 BS 5501 Pt 9	IEC 79-11
الكبسلة	EEx'm'	EN 50028	BS 5501 Pt 8	
انعدام الشرار	EEx'n'		BS/EN 55021	IEC 79-15
حماية خاصة	EEx's'		SFA 3009	

الجدول (23.5) تصنيف حماية حق الدخول

الرقم الأول	وصف للحماية ضد الأجسام الصلبة	الرقم الثاني	وصف للحماية ضد السوائل
0	لا يوجد توصيف	0	لا يوجد توصيف
1	حتى 50 mm، أي ملامسة عرضية باليد	1	تساقط المياه، أي التكثيف
2	حتى 12 mm، أي الأصابع	2	رش الماء مباشرة حتى 15° عن الشاقول
3	حتى 2.5 mm (الأدوات والأسلاك)	3	رش الماء مباشرة حتى 60° عن الشاقول
4	حتى 1 mm (الأدوات، الأسلاك، والأسلاك الرفيعة)	4	الرش في جميع الاتجاهات
5	الغبار (كميات غير ضارة)	5	ضغط نفث منخفض للماء من جميع الجهات
6	محمي كلياً ضد الغبار	6	ضغط نفث عالي للماء، على ظهر مركب سفينة
		7	التغطيس في الماء
		8	التغطيس لفترة طويلة تحت الضغط

الغلاف المضاد للهب 'Ex'd' (flameproof enclosure): يتم احتواء الأجزاء الداخلية للأجهزة الكهربائية التي تستطيع إشعال خليط متفجر من الغاز والهواء ضمن غلاف (علبة) يمكنه تحمل الضغط الناتج عن اشتعال الغازات المتفجرة ضمنه، والذي يمنع الاتصال بين أي انفجار داخلي والوسط المحيط خارج الغلاف.

إن منطق المفهوم 'Ex'd' مبني على العزل الآمن لأي انفجار قد ينجم عن دخول مادة متفجرة إلى الجهاز، وبالتالي، يمكن تطبيق هذا المبدأ على جميع أنواع الأجهزة الكهربائية باعتبار أنه يمكن عزل الشرارة المحتملة أو العناصر الساخنة في غلاف قوي وبالحجم المناسب. تتضمن العوامل التي تؤخذ بعين الاعتبار من قبل مصنعي التجهيزات ومصممي النظم أطوال مسارات القوس واللهب وأنواعها، والسطوح الساخنة، ودرجة الحرارة الداخلية بغض النظر عن تصنيف درجات الحرارة، والمسافة الكائنة بين المكونات وجدار الغلاف (يتم تحديد هذه المسافة من قبل المواصفات القياسية بمقدار 12 mm على الأقل).

بعض أنواع المكونات غير مناسبة لاستخدامها مع الغلاف المضاد للهب، على سبيل المثال، المنصهرات القابلة لإعادة الوصل، والمكونات الحاوية على سوائل قابلة للاشتعال.

هناك اعتبار أساسي في استخدام العلب ذات التصنيف 'Ex'd' يتمثل في صناعة مضادة للهب، والذي قد تكون حلقة إحكام، سدادة، أو براغي تثبيت. يتم تعريف الفراغات الأعظمية والسعات الدنيا لأي مسار لهب ممكن خلال الوصلة بواسطة المعيار CENELEC EN و 50018، والذي يعتمد أيضاً على متطلبات خطوة سن اللولب للبرغي، والنوعية والطول. يجب الانتباه إلى أن المعايير القياسية تنص على "عدم ترك فراغات مقصودة ضمن مسار اللهب".

تتضمن عملية المصادقة للمعدات 'Ex'd' عملية فحص القوة الميكانيكية للغلاف والذي يجب أن يتحمل 1.5 ضعف على الأقل من ضغط الانفجار الأعظمي من أجل مجموعة فتحات معينة، وكذلك اختبارات التفجير والإشعال تحت ظروف مضبوطة ومحددة.

السلامة العالية 'Ex'e' (increased safety): يتم إجراء قياسات لمنع إمكانية حصول الشرارات أو أي ارتفاع في حرارة الأجزاء الداخلية أو الخارجية للأجهزة

الكهربائية أثناء الشروط العملياتية بشكل يؤدي إلى حدوث الاشتعال. أما الفلسفة الأساسية وراء المفهوم 'Ex'e فهي تتمثل في منع حصول انفجار من جهاز لا يصدر شرراً أو أقواس اشتعال وليس ساخناً في الحالة العادية. يمكن استخدام الوسائط عديمة الشرر وكذلك يمكننا استخدام طرق كهربائية وميكانيكية وحرارية بغية رفع مستوى الأمان لتحقيق متطلبات اختبارات المصادقة.

من أمثلة التجهيزات المصممة والمبنية على فلسفة الحماية 'Ex'e نذكر: المصدرات الضوئية، صناديق الأطراف والمحركات. إحدى إيجابيات 'Ex'e كوسط للحماية هي إمكانية تصنيع الصناديق والعلب من مواد معدنية أو غير معدنية تكون أسهل للعمل مع تلك المضادة للهب والمتوافقة مع المعيار 'Ex'd.

هناك مفاهيم ومبادئ تصميم أساسية تتمثل في 'Ex'e الاستقرار الكهربائي والفيزيائي والحراري للمواد، والتوافقية للمواد المختلفة المستخدمة للعناصر مثل النهايات الكهربائية. اكتسب مصنعي الأجهزة الكهربائية المحمية ضد التفجير براعة في تصميم النهايات الكهربائية لمعدات 'Ex'e لضمان الأمان الميكانيكي وعملية توصيل للنواقل لا تحتاج إلى صيانة. تتطلب العلب المصادقة من النوع 'Ex'e حداً أدنى من حماية الدخول يشار إليه بـــ IP54 يليه اختبار للصدم عند 7 J، بالرغم من أن الخيار الصناعي IP66 هو المفضل في التطبيقات العملية، حيث تتوفر عُلب تناسب مجالاً واسعاً جداً من الظروف البيئية العدائية أثناء العمل.

الحماية من نوع N/n عدم حدوث الشرار للمنطقة 2 من الأماكن الخطرة: تم استخدام كلاً من الحرف الكبير (N) والحرف الصغير (n) في العنوان أعلاه لتجنب الخلط، حيث يعود النوع (N) للمواصفة القياسية البريطانية BS 6941 والتي يستند إليها المعيار القياسي الأوربي CENELEC لتطبيقات المنطقة 2 من النوع (n) الذي لا يسبب الشرار.

من أجل التوافق مع المواصفات القياسية الأوربية ومراعاتها لمتطلبات توجيهات ATEX، فإن المعيار EN 50021 من CENELEC هو المفضل، حيث يعرف مبدأ الحماية على النحو 'EEx'n. وهذا ما سنعتمده فيما يلي من هذه الفقرة 'EEx'n.

تعريف الحماية 'EEx'n: هي نوع من الحماية المطبقة على الأجهزة الكهربائية كتلك غير القادرة أثناء عملها بشكل طبيعي على التسبب بإشعال الوسط الإنفجاري المحيط بها كما أنه من غير المحتمل أن تحدث فيها أعطال توفر الشروط الملائمة للتسبب بعملية الإشعال. قد يتطلب تطبيق الحماية من النوع n رأي هندسة الصوت، وذلك بسبب المجال العريض من الأجهزة والمظاهر التقنية التي تغطيها. إن أجهزة 'EEx'n هي بشكل أساسي ذات تصميم لا يسبب الشرار ويتم تطبيق الحرارة على كل من السطوح الداخلية والخارجية للجهاز.

EEx'n'R: هناك أيضاً نسخة أخرى من مفهوم الحماية 'EEx'n يطلق عليها اسم restricted breathing ويرمز لها بالرمز EEx'n'R وفيها يتم تطبيق معدلات الحرارة فقط على السطوح الخارجية المكشوفة للجو الخارجي (ولذلك فهي مقيدة restricted). وهذا المبدأ يطبق بشكل رئيسي في تطبيقات الإنارة حيث تكون حرارة المصباح عالية جداً، هذا التصميم يمنع أي تماس مباشر بين سطح المصباح وأي محيط انفجاري محتمل.

الأجهزة الكهربائية عديمة الشرار (non-sparking electrical apparatus): يطبق مفهوم الأطواق المضادة للهب بشكل مبدئي على كل مناطق التركيبات البتروكيميائية. وهذا ما يؤدي إلى إنتاج أجهزة ثقيلة وغالية الثمن تكون كلفة تركيبها مرتفعة وصيانتها صعبة.

تاريخياً، الفكرة المطورة بأن خطر الاشتعال من الأجهزة الكهربائية يتغير من الشديد جداً (severe) وهذا ما يصنف بالمنطقة 0 (zone0) إلى المناطق حيث تتواجد خلائط قابلة للاشتعال خلال شروط العمل الطبيعي المنطقة 1 (zone1) ثم إلى المناطق الأكبر حيث تتواجد الغازات سريعة الاشتعال لفترة قصيرة فقط وتحت شروط العمل غير الطبيعي المنطقة 2 (zone2). وهذا ما أدى لاستخدام أجهزة عديمة الشرر (non-sparking) مثل الصناديق الطرفية والمحركات ومصدرات الضوء، ... الخ والتي تم استخدامها في المناطق الخطرة المصنفة من النوع المنطقة 2 (zone2).

بالرغم من الاستخدام الآمن لمفهوم المنطقة 2 (zone2) عديمة الشرار لعدة سنوات في بريطانيا، فقد تبنت عدة دول أوربية أخرى موقفاً مفاده عدم ضرورة هذه المصادقة وكان هناك ممانعة وإحجام عن اعتماد المصادقة 'EEx'n. إن هذا الموقف

تغير الآن. في أمريكا الشمالية، يرخص للمعدات الكهربائية من النوع الجيد الصناعي في الصنف I القسم 2 بدون أي موافقة رسمية مسبقة.

المتطلبات العامة لأجهزة 'EEx'n: لن تقوم الأجهزة ضمن شروط العمل الطبيعية بتوليد أقواس أو شرارات. يمكنها بالطبع أن تضم الأجهزة التالية غير القادرة في الظروف الاعتيادية على تزويد مصدر للإشعال:

- عن طريق استخدام وسائط الكبح المحصورة.
- عن طريق استخدام المكونات غير المثيرة.
- عن طريق استخدام الوسائط المغلقة بإحكام.
- عن طريق استخدام الوسائط المكبسلة (encapsulated).
- عن طريق استخدام أجهزة محدودة القدرة والدارات (IS).
- عن طريق استخدام وسائط 'EEx'q ذات الملء بالرمل.
- عن طريق استخدام وسائط 'EEx'de.

لتعريف الوسائط الواردة أعلاه، يمكن الرجوع للمواصفة BS 50021:1999 نوع الحماية 'n' .

لن تقوم الأجهزة العاملة ضمن الشروط الطبيعية بتوليد حرارة سطحية أعلى من معدل الحرارة المحدد ما لم يتم منع الحرارة أو البقعة الحرارية من التسبب بالإشعال باستخدام التنفس المحصور (restricted breathing) والذي تطبق فيه الحرارة على السطوح الخارجية فقط للأجهزة. كذلك كان التطبيق الرئيسي لنوع الحماية 'n' تاريخيا هو الصناديق الطرفية، والإضاءة، والمحركات التحريضية، في منشورات BS 60021 هناك تطبيقات مختلفة لهذا المفهوم من الحماية مثل: تكييف الضغط الموجز (simplified pressurization)، والذي هو تقنية مشابهة لتلك التي يسمح بها لـــ 'EEx'p من أجل المنطقة 1 و 2 ، الذي يسمح باستخدام المكونات الصناعية القياسية كي يتم إقحامها ضمن الغلاف داخلياً، ينتج ذلك ضغط داخلي يطبق لمنع دخول أو انتقال المحيط الانفجاري ضمن الغلاف.

يمكن كذلك تطبيق التنفس المحصور على النوع 'EEx'n من الأطواق التي تحقق وتؤمن متطلبات الاختبار الضرورية.

يمكن احتواء الأجهزة محدودة القدرة (energy limited apparatus) في أطواق من النوع 'EEx'n لتضم وسائط IS و نهايات مثل أنظمة التحكم بالدخل والخرج I/O.

إعطاء ترقيم لأجهزة 'Ex'n: يجب وضع علامة على الأجهزة المصادق عليها على أنها 'EEx'n، توضع هذه العلامة في موقع مرئي وتتضمن المعلومات التالية:

اسم الجهة المصنعة

مطابقة نوع المنتج

الرمز 'EEx'n

مجموعة الغاز

تصنيف درجة الحرارة T

الرقم التسلسلي

هيئة الاختبار

يجب أن يتضمن الرمز 'EEx'n اللاحقة:

A: للأجهزة عديمة الشرار

C: للأجهزة ذات الشرار حيث تكون التماسات محمية بشكل مناسب أكثر من كونها محمية بأطواق التنفيس المحصورة، أو قصور الطاقة، أو تكييف الضغط الموجز.

R: من أجل أطواق التنفيس المحصورة.

F: لأجهزة الطاقة المحدودة.

P: للطوق مع تكييف الضغط الموجز.

السلامة الذاتية 'Ex'i (intrinsic safety): يمكن للأنظمة الكهربائية أن تكون محمية ذاتياً (IS) فقط إذا كانت جميع الدارات المحتواة وحقول الوسائط آمنة بشكل

ذاتي. يشترط المعيار EN 50020 بأنه في ظل العمل الاعتيادي وشروط الخلل المحددة، لا يمكن أن تتولد شرارات أو آثار حرارية يمكنها أن تسبب اشتعال محيط غازي محدد.

لا يتم توليد الشرارات أو الآثار الحرارية وذلك بسبب كون القدرة في الدارات ذاتية الأمان (IS) منخفضة جداً، الدارات مأمونة الاستعمال هي دارات للقياس والتحكم أكثر من كونها دارات للاستطاعة.

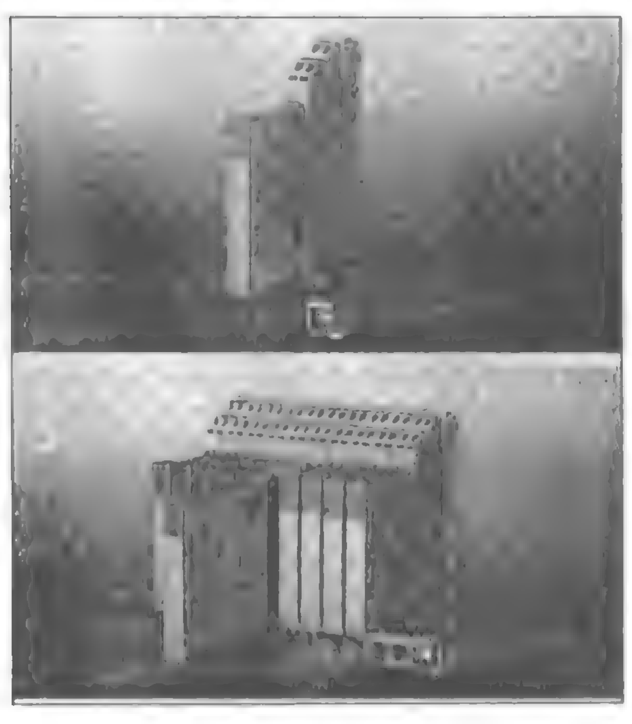
الأجهزة البسيطة (simple apparatus): يعرف الجهاز البسيط بأنه الجهاز الذي يشترط على الجهد الأعظمي الذي يمكن أن يولده حقله أن يكون أقل من 1.2V وألا يتجاوز كل من التيار 0.1A ، والقدرة 20 µJ والطاقة 25 mW. ولا يحتاج الجهاز البسيط للمصادقة عليه. أما أجهزة SI التي تتجاوز التوصيلات الكهربائية فيها معدلات الجهاز البسيط فيجب أن تحقق متطلبات 'Ex'i، غير أنها لا تحتاج لشهادة مصدقة من هيئة اختبارية.

هناك نوعي الحماية 'Ex'i و'Ex'ia حيث لا تسبب المعدات أي اشتعال (i) في العمل الطبيعي، (ii) مع وجود عطل واحد، (iii) مع وجود أي عطلين. يطبق عامل الأمان 1.5 في شروط العمل العادية، وفي حال وقوع عطل واحد، أما في حال وجود عطلين فيطبق عامل الأمان 1.0. تناسب معدات وتجهيزات 'Ex'ia الاستخدام في جميع المناطق بما فيها المنطقة 0 (zone0).

أما تجهيزات ومعدات النوع 'Ex'ib فهي غير قادرة على التسبب بالإشعال (i) في العمل الاعتيادي و (ii) بوجود عطل واحد. يطبق عامل الأمان 1.5 في شروط العمل العادية، وعند وقوع عطل وحيد، ويطبق عامل الأمان 1.0 عند وقوع عطل واحد إذا لم يحتوي الجهاز على مفاتيح غير محمية تمس في أقسامها المعرضة لجو انفجاري محتمل، وكان العطل ذاتي الكشف. تناسب معدات 'Ex'ib للاستخدام في جميع المناطق باستثناء المنطقة 0.

تحتوي مكونات الدارات مأمونة الاستعمال على حواجز لمنع دخول الزيادة المفرطة للقدرة الكهربائية إلى الدارة. إن نوعي الحواجز الأساسيان هما حواجز Zener (تستخدم عند توفر أرضي آمن الاستعمال)، والنوع الثاني Galvanically isolated

(المعزول غلفانياً) وهي عبارة عن وسائط الحجز المعزولة الغلفانية (تستخدم عند عدم توفر الأمان الذاتي الأرضي، انظر الشكل 23.11). يجب تطبيق الأمان الذاتي الأرضي عبر ناقل معلم بوضوح لا يقل عن $4\ mm^2$ بممانعة لا تزيد عن $1\ \Omega$ من الحاجز الأرضي إلى أرضي تغذية الطاقة. إن معدل حماية دخول محددة للطوق لجهاز IS هو IP20، لكن ينصح بـــ IP66 من أجل البيئات الخارجية العدوانية.



الشكل (23.11) بطاقات تحكم ذات سطوح معزولة ومغلفنة لدارات التحكم والتجهيزات

أنواع أخرى للحماية: تستخدم الحماية Ex'p' الهواء أو الغازات الخاملة للمحافظة على الضغط الموجب (عادةً 0.5 mbar) أعلى من الضغط الجوي، لمنع دخول الغازات سريعة الاشتعال أو الأبخرة إلى الطوق أو الحجرة. هناك طريقة أخرى هي

تخفيض حجم الغاز أو البخار ضمن الطوق أو الحجرة دون مستوى مزيج الغاز/الهواء الانفجاري وذلك عن طريق التخفيض من مصدر خارجي نظيف.

تشير الحماية 'Ex'o إلى الجهاز الذي يتم منع اشتعال مزيج الهواء/الغاز فيه عن طريق تغطيس القسم المتوهج أو ذي الشرار في زيت على عمق متدنٍ محدد، تيم تحديده عن طريق نوع الاختبار. نادراً ما تصادف معدات أو أجهزة 'Ex'o.

يتم تغطيس العناصر المشتعلة أو المتوهجة من جهاز محمي عن طريق التعبئة بالرمل 'Ex'q (sand-filled) تتضمن الكوارتز الحبيبـــي أو أي مادة أخرى مشابهة. إن تصنيف حماية الدخول اللازم هو IP54.

يتم تغليف المعدات المكبسلة 'Ex'm (encapsulated) ذات مصادر الإشعال الكامنة لمنعها من ملامسة المحيط الانفجاري.

أظهرت هذه المعدات الخاصة، عن طريق الاختبار، أن الحماية 'Ex's مناسبة للاستخدام في المنطقة المناسبة. بالرغم من إمكانية مراعاة هذه الأجهزة للمواصفات القياسية العالمية، إلا أنها لا تراعي CENELEC EN لمفاهيم الحماية المقرة الموصوفة أعلاه، ولهذا السبب قد لا تستحق العلامة CE.

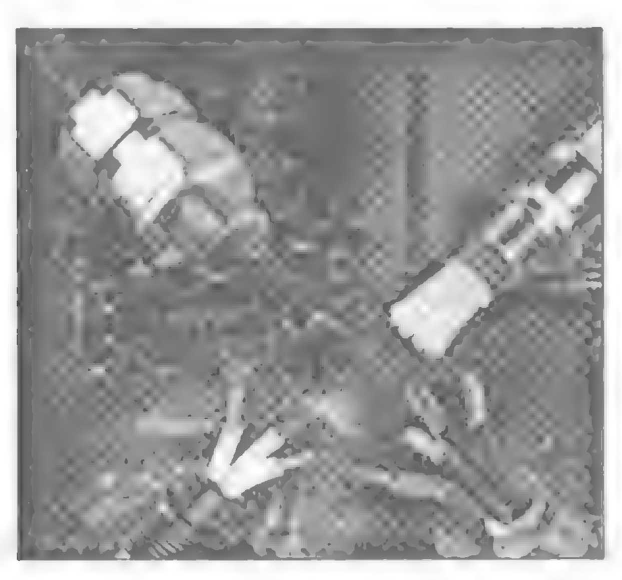
الكبلات (cables): كما في أي نظام كهربائي، فإن الكبلات مطلوبة في المناطق الخطرة وذلك لأغراض القياس والاتصالات والإضاءة والطاقة والتحكم لذلك يجب أن يتم اختيارها لغرض محدد لشروط محيطة معنية (راجع المواصفة BS/EN/IEC60079-14).

إن المنظومات الكهربائية ذات الاستعمال الآمن (IS)، تعني بأن الطبيعة التحريضية والسعوية للكبلات قادرة على تخزين الطاقة، وهذه الطاقة يجب أخذها بالحسبان لدى تصميم دارة (IS). ويتم ذلك عن طريق تحكم صارم بالسعة وبالنسب L/R بالاشتراك مع حواجز Zener أو العوازل المغلفنة. تتضمن المواصفات القياسية البريطانية المتعلقة بتوصيل الكبلات (cabling) للدارة (IS) BS 5308 الجزء 1 و2 والتي تغطي الكبلات المعزولة عن طريق البولي إيتيلين والمعدة للاستخدام في تكرير مصافي النفط والتطبيقات المتعلقة بها، وكبلات PVC ذات الاستخدام الواسع في مجال

الكيمياء والتطبيقات الصناعية. على الرغم من الاستخدام المتكرر والمألوف لكبلات BS 5308 في منظومات IS في المناطق الخطرة، فإن الكلمات "مأمونة الاستعمال" (intrinsically safe) قد لا تظهر في عنوان المعيار، والمقدمة تبين بأن الكبلات "قد تكون ملائمة للمجموعة II من منظومات الاستعمال الآمن".

المواصفات والمعايير الأخرى العائدة للكبلات التي تعمل في المناطق الخطرة والتي يمكن تحديدها تتضمن BS6387/IEC92-3 (والتي تغطي عمليات توصيل الأسلاك للسفن والجوانب العلوية من منشآت النفط والغاز البحرية)، BS6425/IEC745-1 (إصدار الدخان والهالوجين) والمواصفة BS 6387/IEC 331 (مقاومة الحرارة) والمواصفة BS 4066/IEC 332 (معيقات اللهب) وBS6207 (الكبلات المعزولة المعدنية) الشكل (23.12).

صامولة زنق الكبلات (cable glands): تستخدم هذه الصامولات من أجل الربط بين الكبلات، لأجهزة Ex يجب أن تكون مصادقة ومناسبة للنوع Ex المركب المحمي.



الشكل (23.12) مكونات كبلات وتجهيزات الكبلات EEx'd'

من أجل التركيب في مناطق الاتحاد الأوربي، يجب تمييز هذه الصامولات بالعلامة CE. يجب سد ثقوب المداخل غير المستخدمة للكبلات بإحكام في المعدات الكهربائية من النوع Ex وذلك عن طريق أدوات الإيقاف (stopping device) المعتمدة من قبل نمط الحماية Ex المرتبط به.

الشهادات المصدقة (certification): هناك سلطة أو هيئة اختبار وطنية في أوربا تستطيع إصدار وثائق شهادة مصدقة للتجهيزات الكهربائية، وذلك للتثبت من صحة مطابقة الجهاز للمواصفات القياسية للحماية من الانفجار. يعطي الجدول (23.6) تفاصيل الهيئات المختصة في كل بلد. في المملكة المتحدة هناك هيئتا اختبار معتمدتان: EECS/BASEEFA و SIRA. وبالمثل أصبحت ضمن الاتحاد الأوربي مقبولة، شهادة المصادقة عن طريق BASEEFA/SIRA وكذلك معترف بها في أنحاء مختلفة من العالم، وبشكل خاص في الشرق الأوسط والأقصى.

الجدول (23.6) الهيئات أو الجهات المصدقة

البلد	الجهة
بريطانيا	SIRA , BASEEFA/EECS (MESC لتطبيقات التعدين)
ألمانيا	PTB
فرنسا	LCIE , CERCHAR
اسبانيا	LOM
إيطاليا	CESI
بلجيكا	ISSeP
الدانمارك	DEMKO
السويد	SEMKO
النرويج	NEMKO
الولايات المتحدة	FM
كندا	CSA
هولندا	KEMA

في بريطانيا، يتم تنفيذ المصادقة على المواصفات المتعلقة بصناعة التعدين والمناجم عن طريق (MECS). هذه الإجرائية مشابهة لعملية المصادقة على المعايير للمساحات الخطرة الأخرى، ولكن بالإضافة لمتطلبات الحماية من الانفجار، يجب أن تقدم المعدات الكهربائية أيضاً درجة عالية من الأمان العملياتي الكهربائي والميكانيكي المطلوب من قبل مفتشي المناجم.

بعد أن يتم اختبار المنتج من قبل جهة معتمدة، وتتم المصادقة عليه بأنه مطابق لمعايير محددة، يتم طرح الجهاز المصنّع مع شهادة مطابقة تثبت بأنه متطابق مع المواصفات القياسية المحددة.

تمتلك المكونات المصادقة عليها بشكل إفرادي شروط للاستخدام الآمن، يتم ربطها مع مصادقتها وتؤشر بواسطة اللاحقة U. تسمح شهادة المصادقة لجهاز كهربائي متكامل بأن يركب في المناطق الخطرة دون إثبات إضافي، ويمكن أيضاً أن يكون لها شروطاً للتركيب والاستخدام، عندها تؤشر باللاحقة X متبوعة برقم الشهادة.

باختصار، تتضمن إجرائية المصادقة تقديرات لمطابقة أو استجابة المعدات لمواصفات قياسية محددة، اختبار النموذج الأولي لضمان التطابق مع وثائق التصميم والاختبار. يتم تعريف التصميم المصادق عليه ضمن مجموعة من الرسوم المعتمدة المدرجة ضمن الشهادة.

التركيب، التفتيش، الصيانة

Installation, Inspection and Maintenance

التركيب: كما هي المعلومات المتعلقة باختيار الأجهزة الكهربائية لاستخدامها في المناطق الخطرة، فإن النظام القياسي البريطاني للتطبيق BS 5345 يحتوي على دليل لتركيب وتفتيش وصيانة المعدات الكهربائية. النظام مقسم إلى تسعة أجزاء: يعطي الجزء الأول إرشادات عامة، ويغطي الجزء الثاني تصنيفاً للمناطق الخطرة، بينما تختص الأجزاء المتبقية لأنواع مفاهيم الحماية. يحتوي النظام الكثير من المعلومات المفيدة التي تعالج طبيعة العمل الكهربائي في المناطق الخطرة. وهولا يغطي العمل في

المناجم أو الأماكن التي قد يتواجد فيها الغبار المتفجر، ويوضح بأن النظام لا ينزع للحلول محل التوصيات المحدثة لصناعات بعينها أو لتطبيقات خاصة.

في الوقت الحالي، لم تعد المواصفة القياسية البريطانية BS 5345 باستثناء الجزء الثاني منها (والمسمى تصنيف المناطق) مستعملة لكن يجب المحافظة عليها كمرجع للأجهزة المركبة سابقاً والمتوافقة معها. وقد تم استبدال BS 5345 بمعيار تركيب مفرد BS/EN/IEC60079-14 "التركيبات الكهربائية للأجواء الغازية الانفجارية (ما عدا المناجم)". لم يستبدل هذا المعيار القواعد العامة للتوصيلات الكهربائية أو التركيب "شروط الاستخدام" والتي قد تكون موجودة في وثائق تركيب الجهاز Ex. لاحظ بأن هذا المعيار القياسي لا يتضمن أخطار الغبار.

سيتم استبدال BS 5345 الجزء الثاني "تصنيف المناطق" بالمواصفة BS/EN/IEC 60079-10. من أجل عمليات التركيب التي تستخدم العلب المضادة للهب (Ex'd')، تمنع المواصفات القياسية الحواجز المصمتة مثل المشغولات الفولاذية (steel work) أو الجدران أو المعدات الكهربائية الأخرى الاقتراب من الفتحات أو وصلات الإحكام، هنا يجب توفير مسافة خلوص دنيا تصل حتى 40 mm.

يجب حماية فتحات عمق اللهب ضد دخول الرطوبة (إذا لم تمنع المقاومة للعوامل الجوية من تصميم الطوق) عن طريق مواد غير متصلبة كالشحوم البترولية الخفيفة. تحدد المواصفات القياسية نوع الصيغ العامة للسوائل الداخلة إلى العلب المضادة للهب، تحدد هذه المواصفات عدد الأسنان في اللولب الداخلي للعلبة المضادة للهب كما تلفت الانتباه إلى المطلب القاضي باتباع أية توجيهات محتواة ضمن وثائق الشهادة الخاصة بنظم الكبلات أو النهايات.

صامولات الكبل وأدوات مدخل الكبل: يجب المصادقة على صامولة الكبل من قبل Ex وأن يتم تعليمها بالعلامة CE وكذلك أن تكون مناسبة لنوع الحماية Ex المستخدم وأن يتم اختيارها اعتماداً على نوع الكبل وأبعاده وأخيراً يجب أن يكون شكلها مناسباً مع شكل المداخل للكبل. كذلك يجب علينا أخذ متطلبات التأريض بعين الاعتبار. عند الضرورة، قد نستخدم صامولة كبل من النوع الحاجز (barrier-type) للدخول المباشر داخل الغلاف المقاوم للهب. عند استخدام المواسير

(conduits) في عمليات التوصيل، يجب ختمها بأدوات إغلاق ملائمة وذلك لمنع انتقال السوائل أو الغازات عبرها.

الصيانة (maintenance): BS/EN/IEC 60078-17. بشكل عام، يجب أخذ عمليات التشغيل والصيانة بعين الاعتبار عند تصميم الأجهزة أو النظم وذلك بغية تخفيف عملية تحرير الغازات سريعة الاشتعال إلى الحد الأدنى. على سبيل المثال، الحاجة إلى إجرائية للفتح والإغلاق يجب أن تكون حاضرة في الذهن أثناء مرحلة التصميم. لا يجب إجراء أي تعديل على المنشأة بدون العودة للمسؤولين عن تصنيف المنطقة الخطرة، والذين يجب أن يكونوا على معرفة كاملة بهذه القضايا. عندما يتم تجميع الجهاز، يجب اختباره بعناية. تقدم المواصفات برنامج تفتيش موصى به لمعدات كل نوع من مبادئ الحماية، والذي يحدد ما الذي يجب التفتيش عليه من قبل اللجان المختصة وعلى فترات زمنية منتظمة (دورية). من أجل جميع المعدات، يجب فحص نوع الحماية، صنف درجة الحرارة السطحية، ومجموعة الغاز وذلك للتأكد من ملاءمة المعدات لمنطقة استعمالها، كما يجب أيضاً عدم إجراء أي تعديلات غير مسموح بها. يجب فحص مطابقة (identification) الدارات كذلك. يجب عدم العبث بأجهزة 'Ex'd مع الكبلات المتممة أو الصامولات الانزلاقية المختومة أو أطراف الكبل المغلفة وإعادتها للمصنع إذا احتاجت للصيانة.

يتضمن القسم الخاص من المعيار والمتعلق بالتفتيش والصيانة والفحص للسلامة المتزايدة للمعدات 'Ex'n'/Ex'e توصيات فحص يجب القيام بها للتأكد أن المصابيح المستخدمة، والتي يحتمل أن تكون قد استبدلت، هي من النوع المناسب. كذلك الحشوات أو مواد التغليف المستخدمة في معدات 'Ex'n'/Ex'e يجب أن تكون مقبولة. يعطي نمط الحماية 'Ex'e والمتعلق بمحركات القفص ومعدات الحماية المرتبطة توصيات تهدف إلى ضمان عدم تجاوز حرارة جميع أجزاء المحرك الحد الآمن وذلك عند توقف المحرك (أي أن العضو الدوار متوقف).

يولي قسم المواصفات BS/EN/IEC 60079-14 الذي يعالج معدات 'Ex'i اهتماماً خاصاً لكبلات الربط الداخلي المستخدمة في أنظمة IS، يوصي على سبيل المثال بحجوم دنيا للنواقل لضمان امتثال الحرارة في ظروف الأعطال، كما يوصي بفواصل

محددة بين أجزاء دارات IS المستقلة والأرض، وسماكات العوازل، بالإضافة إلى وقاية الكبلات لتجنب مشاكل التحريض المحتملة يؤخذ بعين الاعتبار. بشكل عام، يجب أن تصميم مداخل الكبل بحيث تخفف الأضرار الميكانيكية للكبلات. مع جميع المعدات IS يتم التشديد على الحاجة للتقيد بالمتطلبات المحددة لوثائق الشهادة، وخلال التفتيش يكون من المستحسن إعارة الانتباه للمصابيح، المنصهرات، التأريض، السواتر، الحواجز ونظام الكبلات. هناك بعض الاختبارات وعمليات الصيانة التي يمكن إجراؤها داخل المنطقة الخطرة على دارات IS المغذاة بالطاقة، وأي معدات اختبار مستخدمة يجب أن تكون معتمدة (certified) بأنها ذاتية الأمان أو مأمونة الاستخدام، ومن ثم يتم اتباع شروط وثيقة المصادقة.

من المستحيل في هذه الفقرة التعرف على كافة التفاصيل، أو إرشادات محددة عن التركيب، التفتيش والصيانة للأجهزة الكهربائية في المناطق الخطرة. لذلك ينصح بأن يطلّع المهندس الكهربائي على المواصفات القياسية BS/EN/IEC المتعلقة بالمناطق الغازية والمغبرة الخطرة أو أي نظام ترميز آخر وقوانين وأنظمة أخرى ذات صلة بصناعات أو تطبيقات معينة.

جدول المحتويات

1 المبادئ الأساسية والنظرية 7

المبادئ الأساسية 7

الكهرباء الساكنة 13

المكثفات 15

الدارة المغناطيسية 18

نظرية التيار المتناوب 23

2 خصائص المواد 37

المواد المغناطيسية 37

النحاس وخلائطه 46

الألمنيوم وخلائطه 53

المواد العازلة 58

الناقلية الفائقة 85

3 البلاستيك والمطاط في الهندسة الكهربائية 87

خصائص مواد الصب 87

المواد المتصلبة حرارياً 88

المواد اللدنة حرارياً 93

المطاط في الهندسة الكهربائية 102



4 أنصاف النواقل والوسائط نصف الناقلة 105

أنصاف النواقل 105
العناصر نصف الناقلة 109
أنصاف النواقل الطاقوية 115
عناصر طاقوية أخرى 118
الثايرستورات 119
تطبيقات أنصاف النواقل الطاقوية 124
وسائط التأين الحراري 128
التجهيزات الكهرضوئية 144

5 المقومات والمبدلات 147

مقدمة 147
المقومات المعدنية 148
أجهزة المقوم 153
آلات التحويل 161

6 الحواسيب والمتحكمات القابلة للبرمجة 165

الحواسيب المترلية والمكتبية 168
التأمين أو الحماية 171
الحوسبة الصناعية 172
التجهيزات التي تعتمد على المعالج الصغري 176

7 التوليد الكهربائي 179

نظرية المولد المتزامن 179
أنواع المولدات 187
بنية المولد 188
الاختبار 195
حماية ومزامنة المولد 196
الربط إلى الشبكة الكهربائية 197
تشغيل المولدات 198
أنظمة التهييج 199
منظمات الجهد الآلية 202
توليد الطاقة الكهربائية للتغذية العامة 205
التوليد الصناعي 207
وحدات تغذية الطاقة عالية الأمان 209
حلول لمشكلات الطاقة 211
التحويل المزدوج المباشر 215
المتطلبات العامة لأجهزة UPS 220
المقوم/شاحن البطارية 221
المبدل IGBT 223
المفتاح الكهربائي الساكن 224
المراقبة وأجهزة التحكم 225
التشكيلات المتوازية 228
التركيب النموذجي 230
أنظمة الديزل دون انقطاع 232
الطاقة الشمسية 235

8 **النقل والتوزيع............................239**

التعليمات البريطانية لخطوط النقل الكهربائي المعلقة 243

مردود أنظمة النقل والتوزيع.............................. 247

9 **الكبلات..251**

الكبلات الأرضية.. 251

ثوابت الكبلات تحت الأرضية.............................. 267

كبلات التوصيل.. 270

10 **المحولات والمغيرات التفرعية 275**

المحولات 275

التغيير التفرعي في المحولات 293

11 **التعرفات وعامل الاستطاعة.......................307**

التعرفات.. 307

تصحيح عامل الاستطاعة 312

12 **متطلبات التركيبات الكهربائية (BS 7671).......321**

تعليمات التوصيلات الكهربائية لمعهد المهندسين
الكهربائيين IEE (الطبعة 16)............................ 321

التعديلات التي تم إدخالها في طبعة 2001 324
تفاصيل التعليمات BS 7671:2001 330
الجزء 1. المجال، الهدف والمبادئ الأساسية 335
الجزء 2. تعاريف 335
الجزء 3. تقييم الخصائص العامة 342
الجزء 4. الحماية بغرض توفير الأمان 344
الجزء 5. اختيار واستبعاد التجهيزات 348
الجزء 6. المواقع أو المنشآت الخاصة 350
الجزء 7. المراقبة والاختبار 355
الترتيبات التقليدية للدارة 356

13 الإضاءة 357

المصابيح الكهربائية 364
تقنيات الإضاءة الداخلية 386
تقنيات الإضاءة الكاشفة 393
المتطلبات القانونية (مطابقة القوانين) 401

14 المحركات وأجهزة (عناصر) التحكم 405

محركات التيار المستمر D.C. Motors 405
محركات التيار المتناوب 411
المحركات التحريضية 413
المحركات المتزامنة 434
المحركات أحادية الطور 436

تغيرات سرعة محركات التيار المتناوب 444
أبعاد المحرك 457
عناصر تحكم المحرك 464

15 مجموعة المفاتيح الكهربائية والحماية............479

مجموعة المفاتيح الكهربائية Switchgear 479
التحميل الزائد والحماية من الأعطال 487
الريليات وعناصر الحماية 493

16 التدفئة والتبريد..............................511

تسخين المياه 511
تسخين الجو 526
التحكم الترموستاتي بالحرارة.. 535
الطباخات الكهربائية 538
التسخين بالترددات العالية 542
المراجل البخارية الكهربائية 545
مراجل الماء الساخن الكهربائية 548
أفران المصباح الصناعية 552
التبريد وتكييف الهواء.. 554
تكييف الهواء والتهوية 558

17 أنظمة أتمتة الأبنية 561

إدراك إمكانيات نظام إدارة المبنى 561

18 الأدوات وأجهزة القياس 577

مقاييس التيار ومقاييس الجهد........................ 577
بعض مسببات أخطاء القياس 581
مقاييس الاستطاعة (واط) 591
مقاييس فولت الصمامية 596
المقاومات التفرعية والتسلسلية 598
محولات التيار والجهد........................ 602
مقاييس الطاقة 603
اختبار المقاييس 605
الطريقة A 606
الطريقة B 606
الطريقة C 607
أنظمة محولات الطاقة........................ 610
الأجهزة متعددة المهام 611

19 اللحام الكهربائي........................ 615

لحام القوس المحجوبة بالصهور 616
لحام القوس المحجوبة بالغاز........................ 620
عمليات القوس القصيرة وغير المحجوبة........................ 623

لحام المقاومة 625
اللحام بالإشعاع.. 626

20 مركبات البطارية الكهربائية 635
السيارات الخفيفة المقادة بالبطارية 636
العربات الهجينة.. 638
مجموعات إدارة خلية الوقود.. 640
المركبات الصناعية.. 641

21 أنظمة البطاريات........................643
تطبيقات.. 643
بطاريات الرصاص-الحمض 644
المميزات 649
جهود الخلية 655
خلايا النيكل-الكادميوم القلوية 656
شحن البطارية.. 659

22 أنظمة إدارة الكبلات 665
الأنظمة المتكاملة.. 664
المجاري.. 665
نظم أقنية الكبلات.. 667
أنظمة الأقنية المحيطية 669

القنوات المصغرة 671
نظام الأقنية لطاولات العمل 673
أقطاب ودعامات الخدمة 674
الأنظمة الأرضية المجوفة 675
منظومات التوزيع الأرضية................................ 678
صواني الكبل 679
سلالم الكبلات 681
نظام صينية الأسلاك 682
شبكة أقنية قضبان التوصيل................................ 682
الأنظمة الخاصة 684

23 المناطق الخطرة للعمر الكهربائي 685

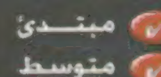
توجيهات ATEX 689
الأماكن الخطرة.. 691
المواصفات والرموز القياسية المستخدمة في بريطانيا وأوربا......... 695
المعدات الكهربائية.. 698
التركيب، التفتيش، الصيانة 714

جدول المحتويات 719

ELECTRICAL PORTABLE REFERENCE

يقدم هذا الكتاب معلومات وفيرة في المواضيع التالية:

- خصائص المواد
- البلاستيك والمطاط في الهندسة الكهربائية
- أنصاف النواقل والوسائط نصف الناقلة
- المقومات والمبدلات
- الحواسيب والمتحكمات القابلة للبرمجة
- التوليد الكهربائي
- النقل والتوزيع
- المحولات والمغيرات التفرعية
- التعرفات وعامل الاستطاعة
- متطلبات التركيبات الكهربائية (BS 7671)
- الإضاءة
- المحركات وأجهزة (عناصر) التحكم
- مجموعة المفاتيح الكهربائية والحماية
- التدفئة والتبريد
- أنظمة أتمتة الأبنية
- الأدوات وأجهزة القياس
- اللحام الكهربائي
- مركبات البطارية الكهربائية
- أنظمة البطاريات
- أنظمة إدارة الكبلات



مبتدئ
متوسط
متقدم
خبير

